

マラウイ共和国
Ministry of Mining (MM)

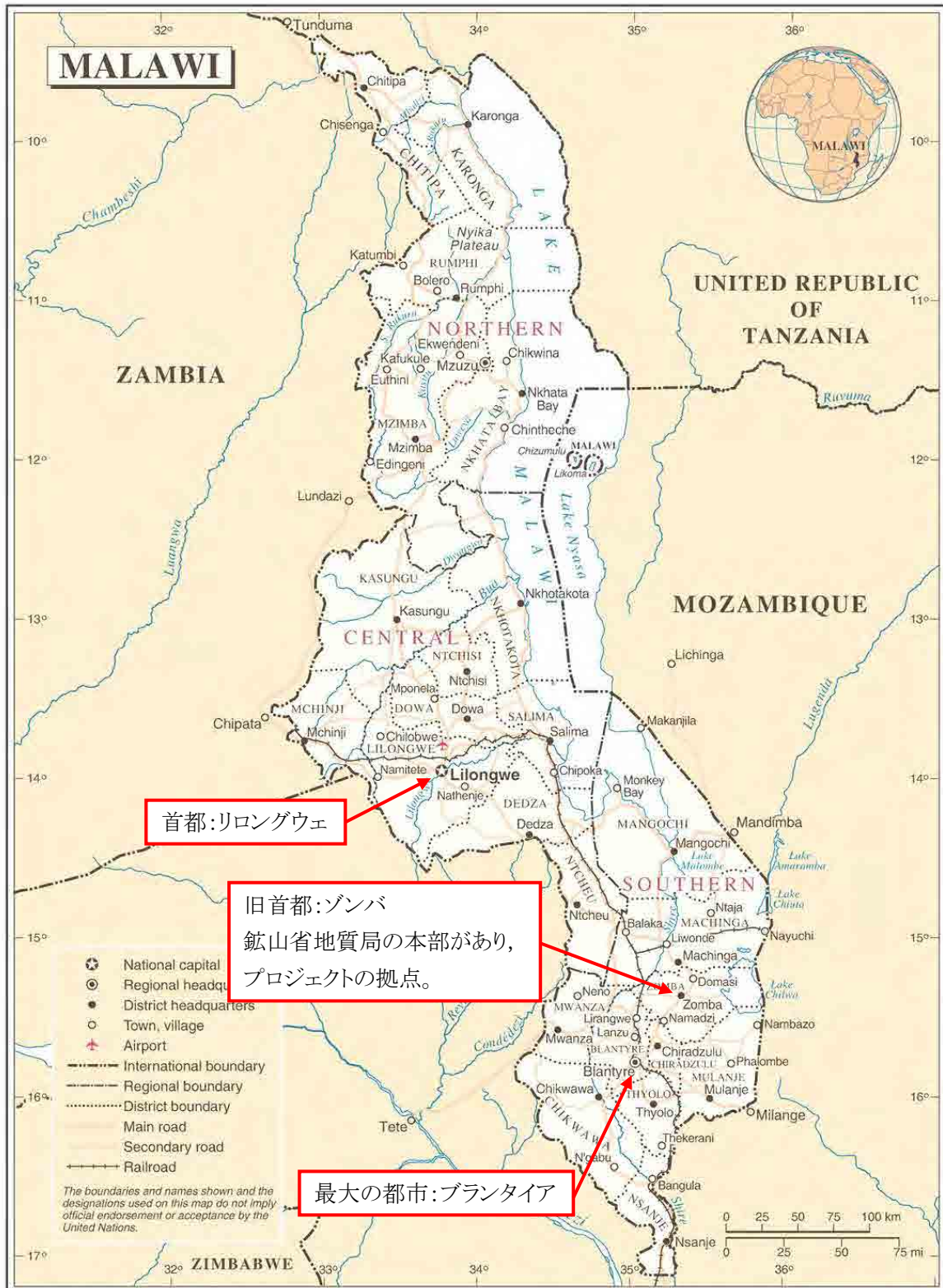
マラウイ国
地質・鉱物資源情報(GIS)整備計画
調査プロジェクト
(開発計画調査型技術協力)
ファイナルレポート

平成 25 年 7 月
(2013)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

住鉱資源開発株式会社

口絵1 マラウイ国の地図



首都:リロングウェ

旧首都:ズンバ
 鉱山省地質局の本部があり、
 プロジェクトの拠点。

最大の都市:ブランタイア

口絵 2 地質に関する写真



マラウイ南東部に位置する Chilwa 湖と Chisi 島：同島は閃長岩貫入岩からなる。



左上：マラウイ湖岸に堆積するチタン鉄鉱
(黒色砂)

右上：マラウイ南部の Chilwa アルカリ岩区
に分布する閃長岩 (中生代白亜紀)

右下：基盤複合岩体の片麻岩 (原生代)



目次

1. プロジェクト概要	1
1.1 プロジェクトの背景.....	1
1.2 プロジェクトの基本概念.....	3
1.3 プロジェクトの目的.....	4
1.4 プロジェクトの基本方針.....	4
1.5 プロジェクトの内容.....	5
1.6 プロジェクトの成果.....	6
1.7 プロジェクトの業務フロー.....	7
1.8 プロジェクトの実施体制.....	8
1.8.1 調査団	8
1.8.2 カウンターパート	10
1.9 プロジェクトの日程.....	12
2. 国内作業.....	14
2.1 第1次国内作業.....	14
2.2 第2次国内作業.....	14
2.3 第3次国内作業.....	16
2.4 第4次国内作業.....	16
2.5 本邦研修.....	16
2.6 第5次国内作業.....	17
3. 現地業務.....	18
3.1 第1次現地業務.....	18
3.1.1 業務目的.....	18
3.1.2 調査団	18
3.1.3 業務日程.....	18
3.1.4 業務実施内容	19
3.1.5 インセプションミーティング	22
3.2 第2次現地業務.....	24
3.2.1 業務目的.....	24
3.2.2 調査団	24
3.2.3 業務日程.....	24
3.2.4 供与機材の設置.....	25
3.2.5 OJT 対象者	25
3.2.6 OJT の方針.....	26
3.2.7 OJT の内容.....	27
3.3 第3次現地業務.....	29

3.3.1	業務目的	29
3.3.2	調査団	29
3.3.3	業務日程	29
3.3.4	OJT 対象者	30
3.3.5	OJT の内容	30
3.3.6	技術移転セミナー	31
3.3.7	第3次現地業務までに完了した成果	32
3.4	第4次現地業務	34
3.4.1	業務目的	34
3.4.2	調査団	34
3.4.3	業務日程	34
3.4.4	アクションプラン	34
3.4.5	成果報告会 (Workshop)	34
4.	供与機材	36
4.1	選定理由	36
4.2	供与機材	37
5.	地質・鉍物資源の基礎情報	40
5.1	鉍業に関連する国の方針	40
5.1.1	鉍業に関連する政策	40
5.1.2	鉍業に関連する政府機関	41
5.2	鉍業セクターの現状	42
5.2.1	操業鉍山	44
5.2.2	鉍物資源の探査活動	45
5.3	地質と地質構造	46
5.3.1	地質	46
5.3.2	地質構造	49
5.4	鉍物資源	49
5.4.1	基盤複合岩体に関連する鉍床	51
5.4.2	アルカリマグマ活動に関連する鉍床	57
5.4.3	カルー超層群およびポストカルーに伴われる鉍床	63
5.4.4	風化残留、漂砂およびリフト関連の堆積作用による鉍床	67
5.5	鉍業法	71
6.	衛星データ解析	74
6.1	衛星データ解析	74
6.2	ASTER データ解析	76
6.2.1	前処理	76
6.2.2	基本解析	77
6.2.3	応用解析	78

6.2.4 解析画像.....	79
6.3 PALSAR データ解析	79
6.3.1 モザイク画像の作成.....	80
6.3.2 リニアメント抽出	80
6.4 衛星データ解析の検証調査.....	81
6.4.1 調査工程.....	81
6.4.2 調査内容.....	81
6.5 衛星データ解析のマニュアル作成.....	82
7. GIS データ作成.....	107
7.1 地質図の GIS データ作成	107
7.1.1 既存地質図の取り込み	107
7.1.2 前作業	108
7.1.3 ArcMap にてシェープファイル作成 (デジタルトレース)	109
7.1.4 ArcMap にてマップファイル作成	110
7.2 地質図の GIS データ化のマニュアル作成.....	111
8. 鉱物資源ポテンシャル	121
8.1 鉱物資源図	121
8.2 鉱物資源ポテンシャル	121
8.3 ポテンシャル評価の手段.....	122
9. GIS データベース構築	125
9.1 データ収集.....	125
9.2 GIS データベース.....	125
9.3 GIS データベース管理マニュアルの作成.....	125
10. 人材育成	131
10.1 人材育成のプログラム	131
10.2 衛星データ解析の OJT	132
10.2.1 OJT の方法.....	132
10.2.2 OJT の内容	132
10.2.3 技術移転の評価.....	132
10.3 GIS データ作成の OJT.....	135
10.3.1 OJT の方法.....	135
10.3.2 技術移転の評価.....	135
10.4 OJT のまとめ	136
10.5 技術移転セミナー	136
10.6 本邦研修.....	137
10.7 成果報告会 (Workshop)	138
10.8 JICA 研修	139

1 1. 課題と提言など	143
11.1 課題	143
11.2 提言	143
11.3 アクションプラン	144
1 2. 引用・参考文献等	146

巻末資料 1 Minutes of Meeting (M/M)	
巻末資料 2 Record of Discussions (R/D)	
巻末資料 3 Inception Meeting	
巻末資料 4 衛星データ解析のマニュアル	
巻末資料 5 GIS データ作成のマニュアル	
巻末資料 6 GIS データベース管理のマニュアル	

図表一覧

図 1.1	プロジェクトの基本概念.....	3
図 1.2	プロジェクトの業務フロー.....	7
図 1.3	調査団の工程.....	9
図 1.4	GSD の組織図.....	10
図 2.1	人材育成の計画概念.....	15
図 4.1	プリンタとプロジェクタ類の設置状況.....	39
図 4.2	PC と周辺機器類.....	39
図 5.1	マラウイの概略地質図.....	46
図 5.2	マラウイの鉱物資源図.....	50
図 6.1	ASTER センサのバンド位置.....	85
図 6.2	ASTER データの処理フロー.....	86
図 6.3	ASTER データ位置図.....	89
図 6.4	マラウイ全域の ASTER ブラウズ画像.....	90
図 6.5	ASTER データの全バンド画像.....	91
図 6.6	ASTER バンド合成画像 (RGB=B3,B2,B1).....	92
図 6.7	ASTER マスクデータ (植生域, 水域, 雲域, 影域).....	92
図 6.8	ASTER 統合マスクデータ.....	93
図 6.9	ASTER VNIR バンド合成画像 (RGB=B3,B2,B1).....	93
図 6.10	ASTER SWIR バンド合成画像 (RGB=B4,B6,B8).....	94
図 6.11	ASTER 比演算処理画像 (RGB=B4/B8,B3/B8,B3/B1).....	94
図 6.12	ASTER TIR バンド合成画像 (RGB=B10,B12,B14).....	95
図 6.13	ASTER 主成分分析画像 (RGB=PCA-B2,B4,B6) と地質図.....	95
図 6.14	PALSAR データの処理フロー.....	96
図 6.15	PALSAR データ位置図.....	97
図 6.16	マラウイ全域の PALSAR モザイク画像.....	98
図 6.17	南部地域の PALSAR モザイク画像.....	99
図 6.18	南部地域の ASTER G-DEM 画像.....	100
図 6.19	南部地域のリニアメント図.....	101
図 6.20	衛星データの検証調査の位置図.....	102
図 6.21	衛星データの検証調査地域の ASTER 画像.....	103
図 6.22	検証調査の記載シート例.....	104
図 6.23	衛星データの検証調査地域の写真.....	105
図 6.24	衛星データの解析マニュアル (一部).....	106
図 7.1	地質図の GIS データ化フロー.....	114
図 7.2	マラウイ全域の 10 万分の 1 地質図の位置図.....	116
図 7.3	マラウイ全域の 10 万分の 1 地質図.....	117
図 7.4	マラウイ全域のデジタル地質図.....	118

図 7.5	10 万分の 1 地質図 (Sheet No.16: Zomba)	119
図 7.6	GIS データ化された地質図 (Sheet No.16: Zomba)	120
図 8.1	鉱物資源分布図	123
図 9.1	地形データの GIS 図	126
図 9.2	行政等データの GIS 図	127
図 9.3	GIS データベースのツリー型ディレクトリ構造	128
図 10.1	OJT による技術移転の写真(1/2)	140
図 10.2	OJT による技術移転の写真(2/2)	141
図 10.3	人材育成に関するその他の写真	142
表 1.1	調査団の構成と担当業務	8
表 1.2	調査団員の現地業務従事期間	9
表 1.3	GSD の関係者	11
表 2.1	本邦研修の日程表	17
表 3.1	第 1 次現地業務の主要業務日程	18
表 3.2	技術移転の対象者リスト (当初計画) と研修経歴	20
表 3.3	インセプションミーティング参加者リスト	23
表 3.4	第 2 次現地業務の主要業務日程	24
表 3.5	OJT 対象者と出席率	25
表 3.6	第 2 次現地業務の OJT の内容と日程	27
表 3.7	第 3 次現地業務の主要業務日程	29
表 3.8	第 3 次現地業務の OJT の内容と日程	31
表 3.9	技術移転セミナー参加者	32
表 3.10	第 4 次現地業務の主要業務日程	34
表 4.1	供与機材一覧	38
表 5.1	鉱業生産量および生産額 (2008~2010 年)	42
表 5.2	主要な鉱山開発および探査プロジェクト	43
表 6.1	衛星データと作成ファイル	74
表 6.2	衛星データ解析の現地検証調査の調査工程	82
表 6.3	衛星データ解析の現地検証調査結果	84
表 7.1	地質図名と略称	113
表 10.1	人材育成プログラムの参加者	131

略語リスト

AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, JAPAN
ArcGIS	ArcGIS for Desktop Basic (software name) / Previous name is ArcView.
ASEAN	Association of South-East Asian Nations
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BGS	British Geological Survey
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C/P	Counterpart
DB	Data Base
DEM	Digital Elevation Model
DM	Department of Mines, MALAWI
dpi	dots per inch
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
ENVI	* ENVI is the software name.
EPL	Exclusive Prospecting License
ERSDAC	Earth Remote Sensing Data Analysis Center, JAPAN
FS	Feasibility Study
GCP	Ground Control Point
GDP	Gross Domestic Product
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GSD	Geological Survey Department, MALAWI
GSJ	Geological Survey of Japan
HIPC	Heavily Indebted Poor Countries
IMF	International Monetary Fund
IRGS	Intrusion Related Gold System
JICA	Japan International Cooperation Agency
JOGMEC	Japan Oil, Gas and Metals National Corporation
JORC	Joint Ore Reserves Committee
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JSS	Japan Space Systems (former ERSDAC)
LOI	Loss On Ignition
MEGS	Malawi Economic Growth Strategy
MEM	Ministry of Energy and Mines, MALAWI
MGDS	Malawi Growth and Development Strategy
MGGSP	Mining Governance and Growth Support Project
MINETEC	International Institute for Mining Technology, JAPAN

MM	Ministry of Mining, MALAWI
M/M	Minutes of Meeting
MNREE	Ministry of Natural Resources, Energy and Environment, MALAWI
MWK	Malawi Kwacha
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NMSP	Malawi National Mining Sector Policy
OCM	Office of the Commissioner for Mines, MALAWI
OJT	On-the-Job Training
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PCA	Principal Component Analysis
PGM	Platinum Group Minerals
PGRM	Project of Governance of Mineral Resources
R/D	Record of Discussions
RGB	Red Green Blue (color model)
SADC	Southern African Development Community
SAR	Synthetic Aperture Radar
SRED	Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd.
SMM	Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.
SWIR	Short Wave Infrared Radiometer
TIR	Thermal Infrared Radiometer
UTM	Universal Transverse Mercator
VNIR	Visible and Near-infrared Radiometer
WB	World Bank
XRF	X-ray fluorescence

<通貨換算率>

0.493 MWK/JPY : 2012 年 5 月 11 日

0.304 MWK/JPY : 2012 年 6 月 29 日

0.245 MWK/JPY : 2013 年 3 月 11 日

0.303 MWK/JPY : 2013 年 7 月 16 日

1. プロジェクト概要

1.1 プロジェクトの背景

マラウイはアフリカ大陸の東部を縦断する大地溝帯（グレートリフトバレー）の南端部に位置し、同国東部には大地溝帯を象徴する全長約 580km の南北に細長いマラウイ湖がある。大地溝帯は特異な地質および地質構造からなり、特有の鉱物資源が賦存することで知られる。

マラウイの主要な産業は農業（タバコ、砂糖キビ、綿花、茶葉など）であり、GDP の 3 分の 1、輸出収入の 90%以上を占める。経済は、IMF、世界銀行、各ドナー国からの経済援助に依存しており、2006 年には重債務貧困国（HIPC）債務救済制度による救済の対象国として承認された。2004 年に選出された前ムタリカ大統領は持続的な経済成長による貧困からの脱却を国家基本目標として掲げ、同年にマラウイ経済成長戦略（MEGS）、2006 年にマラウイ成長開発戦略（MGDS）2006-2011 を策定した。MGDS は 2 期目の MGDS II 2011-2015 が策定され、2012 年 4 月に就任したバンダ大統領と議会によって承認された。

背景 1：国の開発計画（MGDS, MGDS II）と鉱業開発

MGDS 2006-2011 は「持続的な経済成長とインフラ開発を通じた貧困削減と富の創造」を目標とし、5 つの主題からなる。一番目の主題「持続的な経済成長」は貧困削減という大目標を達成するための最優先課題である。鉱業セクターは「持続的な経済成長」の中で「成長可能セクター」として位置付けられ、その振興が特に重要視された。

MGDS II 2011-2015 は、引き続き MGDS と同じ目標をもち、経済成長を促進するための手段として 9 つの優先分野からなる。二番目の優先分野は、エネルギー、産業開発、鉱業、観光からなる。鉱業の発展は雇用創出と外貨獲得を通じて国の経済成長に著しく貢献すると言及された。

MGDS と MGDS II において鉱業セクター振興は経済成長の重要な手段とされたことから、マラウイは鉱業セクターへの民間企業の参入を積極的に促進している。従来、マラウイの鉱業生産物の大半は涯青炭、貴石、石灰石、建設用骨材であり、そのうち主に輸出用に生産されるのは貴石のみであった。2009 年初頭に生産を開始した Kayelekera ウラン鉱山はマラウイで操業している唯一の大規模鉱山であり、同鉱山の生産は単独でマラウイの鉱業セクターを一変させた。

マラウイでは 1964 年の独立以来、専ら農業が促進され、鉱業はほぼ無視されてきたのも同然であった。2009 年まで鉱業の GDP への貢献は 3%以下であったが、Kayelekera ウラン鉱山の操業後、2011 年には GDP への貢献は約 10%に増加した。近年は、オーストラリア、カナダ、中国などの民間会社によるウラン、レアメタルおよびレアアースを対象とした鉱物資源探査、鉱山開発、投資計画が進んでいる。現在の鉱業法は 1981 年に制定された鉱山・鉱物資源法（Mines and Minerals Act 1981）である。なお、新鉱業法が現在審議されており、2013 年に制定される見込みである。

背景 2：最新の地質情報および鉱物資源情報の不足

マラウイではイギリスの植民地時代の 1950～1960 年代に作成された古い地質図しかなく、地質情報の更新がなされておらず、鉱物資源の情報やデータは不足している。これらのデータはデジタル化されておらず、保管・管理が困難となっている。また、地質および鉱物資源の GIS（地理情報システム）データも整備されていない。これらは、設備、資金および人材などの不足が大きな原因と考えられる。

背景 3：カウンターパート機関の人的資源の不足

本プロジェクトのカウンターパート（C/P）機関は、鉱山省（MM）内の地質調査局（GSD）であり、地質マッピング、鉱物資源の探査、鉱物資源情報の管理および鉱物資源の開発推進を任務としている。GSD では、リモートセンシングや GIS に係るハードウェアやソフトウェアの設備は十分ではない。このため、GSD のスタッフが、日本の支援として独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）および独立行政法人国際協力機構（JICA）の研修を受講した後に、研修の成果を生かすことができない。一方では、リモートセンシングや GIS の技術を持つ者（特に地質技術者や鉱山技術者）が民間企業に移籍してしまうという問題が生じている。したがって、関連人材の確保・育成および能力の強化は、今後の鉱業セクターにおける調査計画策定や投資促進を進めるうえでの重要な課題である。

以上の背景に基づいて、マラウイ国政府は我が国に対し、①リモートセンシングによる必要な地質情報の収集・処理・解析、② GIS の構築、および ③ GSD の能力強化のための協力を要請した。この要請を受け、独立行政法人国際協力機構（JICA）は 2011 年 10 月に詳細計画策定調査を実施し、鉱業分野の人材育成に重点を置いた協力事業実施の妥当性を確認した上で、Minutes of Meeting（M/M）に署名した。さらに、2011 年 11 月に GSD をカウンターパート機関とした「マラウイ国地質・鉱物資源情報（GIS）整備計画調査プロジェクト」（本プロジェクト）の実施に係る Record of Discussions（R/D）を締結した。

M/M と R/D は巻末資料として本報告書に添付している。

1.2 プロジェクトの基本概念

プロジェクトの基本概念を下図に示す。詳細内容は 1.1 節および 1.3～1.6 節を参照。

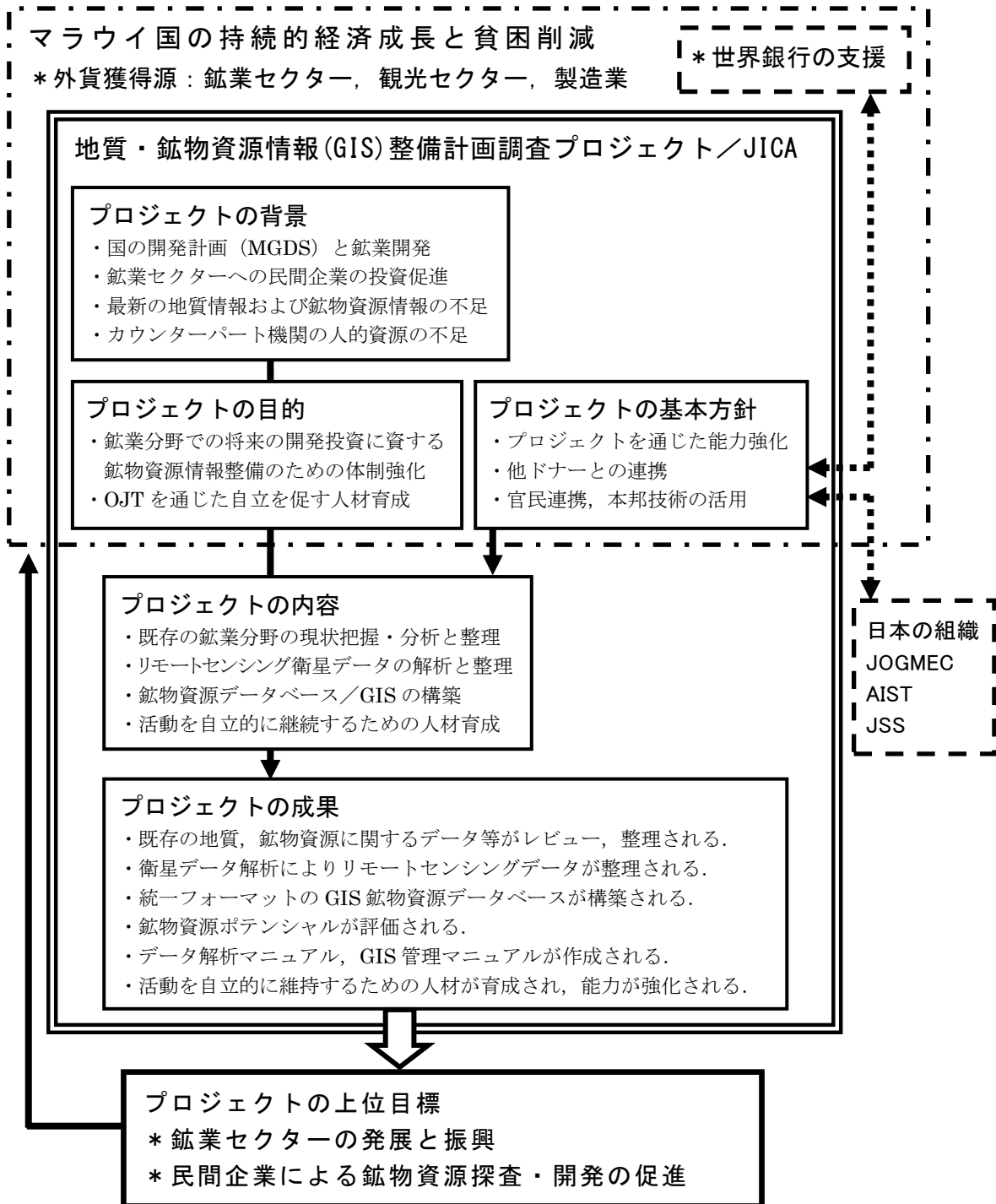


図 1.1 プロジェクトの基本概念

1.3 プロジェクトの目的

目的 1：鉱業分野における将来の開発投資に資する鉱物資源情報整備のための体制強化

目的 2：リモートセンシングデータの解析および GIS 鉱物資源データベースの構築・管理を自立的かつ持続的に実施できるような OJT を通じた人材育成

1.4 プロジェクトの基本方針

方針 1：プロジェクト実施を通じた人材育成と能力強化

現地において業務を実施する際には、C/P との共同作業を行い、OJT を通じた技術移転を図る。技術移転と同時に、リモートセンシングデータの解析作業マニュアルおよび GIS データベースの管理マニュアルを C/P と協力して作成する。さらに、技術移転セミナーおよび本邦における研修においても、C/P の能力強化を図る。

方針 2：プロジェクトの上位目標を考慮し、地質・鉱物資源を理解した業務の実施

本プロジェクトの上位目標には鉱業セクターの振興と民間企業による投資促進がある（図 1.1）。本格的な資源開発が始まったマラウイには、ウラン、レアアース、レアメタルなどの鉱物資源ポテンシャルの高さに世界の関心が集まっている。本プロジェクトではこの上位目標に寄与するために、また、業務の品質を向上させるためにも、調査団はマラウイの地質および鉱物資源に対して深く理解して、地質および鉱物資源情報を正確に詳細にまとめる。

方針 3：本邦技術の利用

日本の人工衛星である、多バンド・高解像度の光学センサの ASTER および L バンド多偏波の合成開口レーダセンサの PALSAR のリモートセンシングデータを利用する。

方針 4：他ドナーおよび国際的取り組みとの連携

世界銀行は 2011 年 3 月にマラウイの鉱業セクターへの支援として、3000 万 US ドル規模の「鉱業ガバナンス支援プロジェクト (MGGSP)」を承認した。MGGSP には、鉱業セクター振興のプログラムが含まれており、地球物理探査、地化学探査、地質調査、衛星データ解析などが実施され、研修による能力開発も計画されている。このため、本プロジェクトでは、世銀 MGGSP と継続的に連携・協調しつつ、活動の重複を避けることに留意する。資源産出国における多国間協力の枠組みである採取産業透明性イニシアティブ (EITI) の動向を注視する。

方針 5：日本側の官民連携

JOGMEC ボツワナ共和国・地質リモートセンシングセンターでは、継続的に GSD の地質技術者が研修を受けている。このため、OJT および技術移転セミナーでは同センターのカリキュラムを参考にするなど、必要に応じて JOGMEC と協議の上、同センターと

の連携を図る。また、JOGMEC や（独）産業技術総合研究所のプロジェクトとの情報交換を図る。

1.5 プロジェクトの内容

内容 1：既存の鉱業分野の現状把握・分析と整理

- ・ 国家開発，貧困削減，経済などにおける鉱業セクターの位置付けと役割を把握する。
- ・ 鉱業セクターに関連する既存の資料を収集，レビューし，問題点等を分析する。
- ・ 地質および鉱物資源に関連する資料・データを収集，レビューし，問題点等を分析する。
- ・ GSD 等の組織の人員体制，技術レベル，設備・機材の現状を確認し，問題点等を分析する。
- ・ GSD に対する人材育成方針（OJT の方法，セミナー，本邦研修）を検討し，実施案を策定する。
- ・ 業務実施に必要な資機材の仕様を検討し，決定する。

内容 2：リモートセンシングによる衛星データの解析と整理

- ・ マラウイ国全域の ASTER，PALSAR 等の衛星データの解析を行う。
- ・ 衛星データの解析方法等の技術移転を OJT により行う。
- ・ 衛星データ解析結果に対する現地検証調査を実施する。
- ・ 鉱物資源ポテンシャルの評価・分析を行う。
- ・ 衛星データの解析を自立的に継続するための解析作業マニュアルを作成する。
- ・ 衛星データ解析に必要な資機材を選定し，調達する。衛星データ解析のソフトウェアとしては，世界的に普及しており，特に南アフリカ諸国では標準となっている Exelis VIS 社の ENVI を使用する。

内容 3：鉱物資源データベース/GIS の構築

- ・ 既存 GIS のデータおよび管理体制を確認し，問題点等を把握する。
- ・ GSD 以外の GIS データについても状況を確認する。
- ・ データベースの最適な運営方法を検討し，持続的管理が可能な GIS データベースを設計する。
- ・ OJT を通じ，衛星データ解析結果および地質・鉱物資源データを GIS データベースに投入する。
- ・ 地形，水系，インフラ，行政などの各種データを GIS データベースに投入する。
- ・ 自立的な運営に係るマニュアルを作成し，同時に最適な体制や方法を提言する。
- ・ 本業務で得られる基本情報を発信するためのウェブサイトとコンテンツを整理する。
- ・ GIS データベース構築に必要な資機材を選定し，調達する。GIS データベース構築のソフトウェアとしては，世界的に普及しており，特に南アフリカ諸国では標準となっている ESRI 社の ArcGIS を使用する。

内容 4：活動を自立的に継続するための人材育成

- ・上記の内容 2 および内容 3 について，GSD が独力で継続的に実施できるように，C/P との共同作業での OJT を通じて技術移転を行う。
- ・リモートセンシングと GIS をテーマとした技術移転セミナーを開催する。
- ・GSD 職員に対して，鉱物資源 GIS データベースの構築に資する本邦研修を実施する。
- ・本業務成果の活用のために，C/P 側の体制と人材育成方針に係るアクションプランを作成する。
- ・調査団と C/P による成果報告会を開催する。

内容 5：報告書の作成

- ・定められた時期に，業務の進捗，成果等を記した各種報告書を作成する。

1.6 プロジェクトの成果

成果 1：既存の地質・鉱物資源に関するデータ等がレビューされ，整理される。

- ・地質データ，鉱物資源データ，リモートセンシングデータ，物理探査データ，地球化学データ
- ・鉱物資源の探査および開発の状況
- ・インフラや周辺環境に係る情報
- ・鉱業法，投資促進局の投資データおよびその他の関連法令と政策

成果 2：リモートセンシングデータ解析により衛星画像およびその解析画像が整理される。

- ・マラウイ国全域の ASTER データおよび PALSAR データの収集と解析

成果 3：統一フォーマットで GIS 鉱物資源データベースが構築される。

- ・上記のリモートセンシングデータの解析結果の GIS データ化
- ・地質図および鉱物資源に関するデータセットおよび調査結果の GIS への投入
- ・各種データ（地形，水系，山地，インフラ，行政，施設，環境）の GIS への投入

成果 4：鉱物資源ポテンシャルが評価される。

- ・収集・解析データに基づく鉱物資源ポテンシャルマップの作成

成果 5：データ解析およびデータベース管理のマニュアルが作成される。

- ・初心者でも作業が可能な衛星データの解析作業マニュアルの作成
- ・GIS 鉱物資源データベースの管理マニュアルの作成

成果 6：上記の活動を自立的に維持するための人材が育成され，能力が強化される。

- ・共同作業による OJT を通じた技術移転による人材育成
- ・技術移転セミナーおよび本邦研修による能力強化
- ・上記の結果として，C/P 機関による独力での持続的なデータ解析やデータベース管理

1.7 プロジェクトの業務フロー

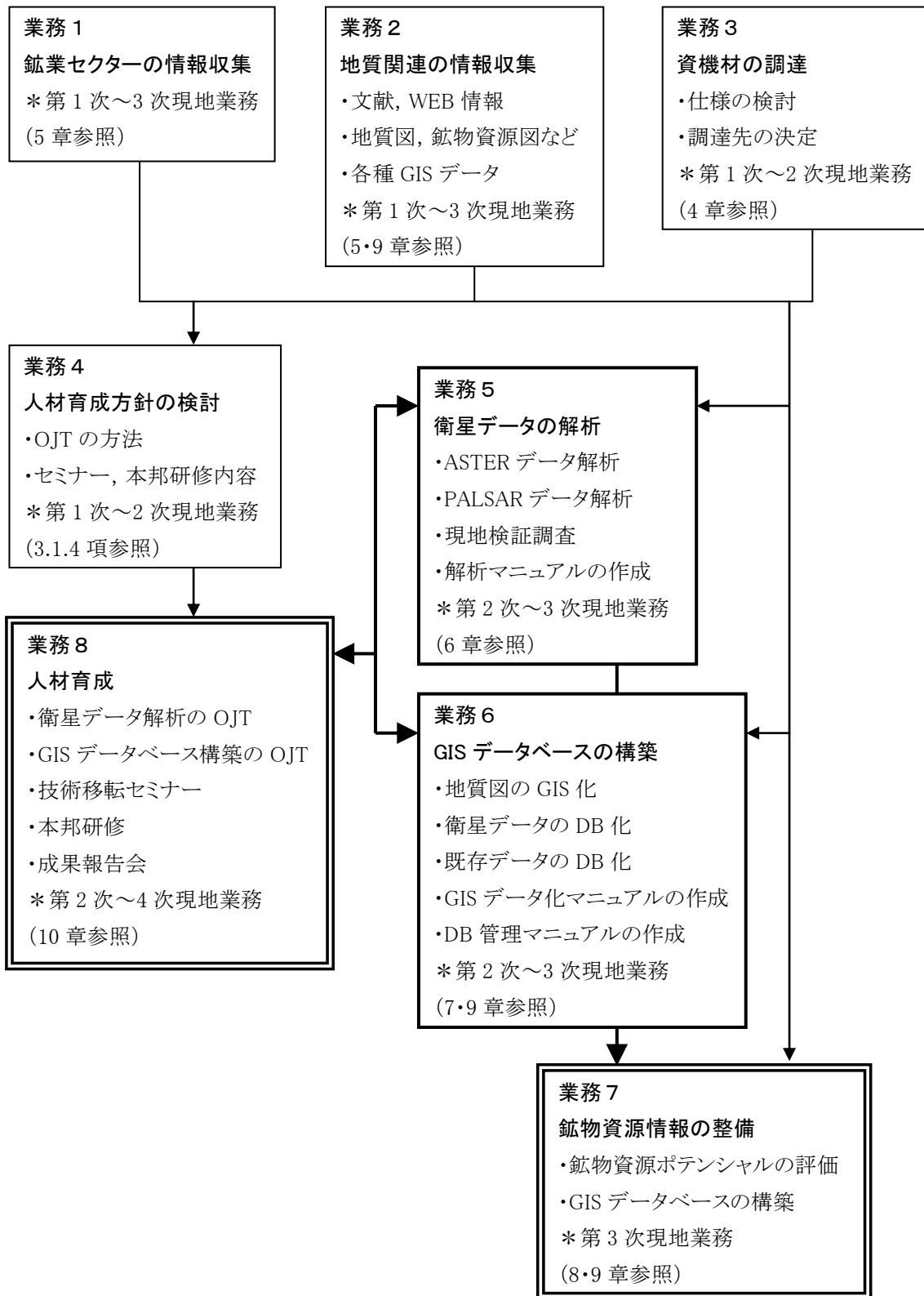


図 1.2 プロジェクトの業務フロー

1.8 プロジェクトの実施体制

1.8.1 調査団

調査団員名および各団員の担当業務を表 1.1 に示す。5 名全員が住鉱資源開発株式会社に所属する。小沼、武田および小林は現地業務を主体に従事するが、石川と町田は国内作業のみに従事する。調査団の工程を図 1.3、現地業務従事期間を表 1.2 に示す。

表 1.1 調査団の構成と担当業務

氏名	担当	主な業務内容
小沼 工 ONUMA Takumi	総括／関連情報整備 (団長)	<ul style="list-style-type: none"> ・業務全般の総括，業務工程の管理 ・外部関係機関および C/P 機関との折衝，調整 ・既存の地質・鉱物資源関連情報の収集，整理，分析 ・リモートセンシングおよび GIS のトレーニング ・リモートセンシングデータの解析 ・鉱物資源ポテンシャルの分析 ・本邦研修の準備，対応
武田 祐啓 TAKEDA Masahiro	リモートセンシング／ マッピング・鉱物評価	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星データおよび各種資機材の調達 ・各種資機材の設営 ・リモートセンシングデータの解析，判読 ・地質構造および鉱物のマッピング ・OJT による衛星データ解析などの技術移転 ・データ解析マニュアルの作成支援
小林 浩久 KOBAYASHI Hirohisa	鉱物資源データベース ／GIS	<ul style="list-style-type: none"> ・GIS データベースの設計と構築 ・OJT による GIS 操作方法などの技術移転 ・GIS データベースの管理・運営方法の検討 ・データベース管理マニュアルの作成支援 ・収集されたデータ等の管理
石川 弘真 ISHIKAWA Hiromasa	GIS	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図の GIS データ化（国内作業）
町田 怜史 MACHIDA Satoshi	GIS	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図の GIS データ化（国内作業）

	担当業務	氏名	2012										2013						
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
現地業務			第1次			第2次				第3次			第4次						
	総括/ 関連情報整備	小沼 工		■			■		■		■		■				■		
	リモートセンシング/ マッピング・鉱物評価	武田 祐啓		■			■		■		■						■		
	鉱物資源 データベース/GIS	小林 浩久		■			■		■				■				■		
国内作業	総括/関連情報整備	小沼 工	□		□					□					□			□	
	リモートセンシング/ マッピング・鉱物評価	武田 祐啓	□							□			□	□					
	鉱物資源データベース /GIS	小林 浩久	□		□								□	□					
	GIS	石川 弘真											□	□					
	GIS	町田 怜史											□	□					

図 1.3 調査団の工程

表 1.2 調査団員の現地業務従事期間

氏名／担当	現地業務	従事期間／日数	日数計
小沼 工 総括，関連情報整備 (団長)	第1次	2012年3月31日～4月19日：20日間	146日
	第2次	2012年6月4日～7月9日：36日間 2012年8月26日～9月20日：26日間	
	第3次	2012年10月27日～11月20日：25日間 2013年1月23日～2月15日：24日間	
	第4次	2013年5月18日～6月1日：15日間	
武田 祐啓 リモートセンシング/ マッピング・鉱物評価	第1次	2012年3月31日～4月19日：20日間	167日
	第2次	2012年6月4日～9月1日：90日間	
	第3次	2012年10月27日～12月7日：42日間	
	第4次	2013年5月18日～6月1日：15日間	
小林 浩久 鉱物資源データベース/ GIS	第1次	2012年3月31日～4月19日：20日間	164日
	第2次	2012年6月25日～9月20日：88日間	
	第3次	2013年1月6日～2月15日：41日間	
	第4次	2013年5月18日～6月1日：15日間	

1.8.2 カウンターパート

本プロジェクトのマラウイ側カウンターパート機関は、鉱山省内の地質調査局（GSD）であり、GSD の本部はゾンバにある。Dr. Leonard Kalindekafe は長く GSD の局長を務めていたが、2012 年 12 月に鉱山省の主席次官に昇格した。それを受けて、Salima 副局長が局長代行となった。所員数は約 40 名であり、うち地質専門家は約 20 名、その他の技術者が 24 名となっている。GSD の組織図を図 1.4 に示す。本プロジェクトに直接的に係った関係者を表 1.3 に示す。

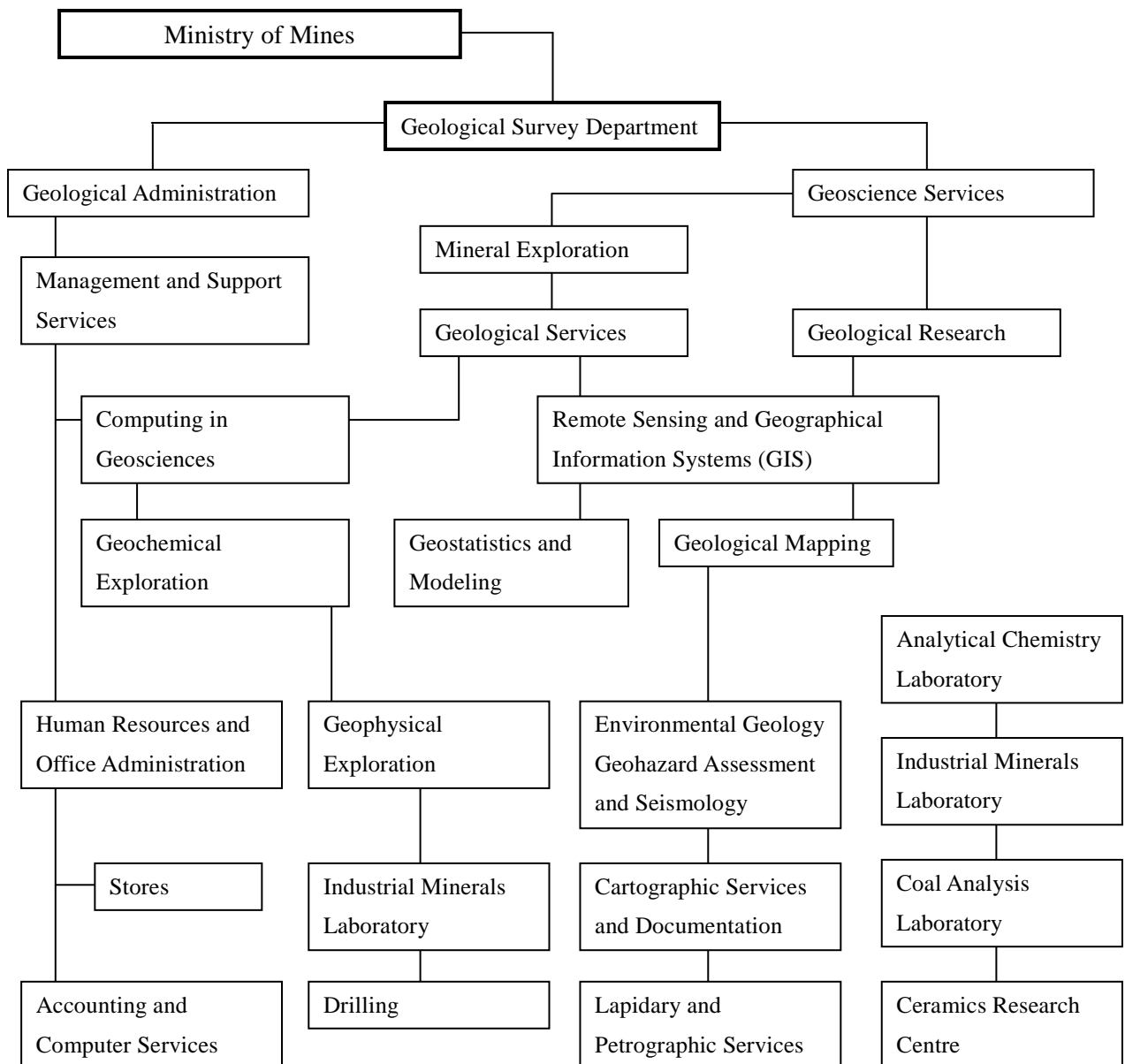


図 1.4 GSD の組織図

表 1.3 プロジェクトに係わった GSD 職員

	職 種	参加内容
A	Acting Director	Official meetings, Training in Japan
B	Previous Director, Principal Secretary in Ministry of Mining	Official meetings, Inception meeting
C	Principal geologist	Training in Japan
D	Principal geologist	Training in Japan
E	Principal geologist	Inception meeting
F	Geologist	Inception meeting, OJT
G	Geologist	Inception meeting, OJT
H	Geologist	Inception meeting
I	Geologist	Inception meeting
J	Geologist	Inception meeting
K	Geologist	Inception meeting
L	Geologist	Inception meeting, OJT
M	Senior seismology technician	Inception meeting
N	Senior geochemist	Inception meeting, Seminar
O	Geological technician	OJT
P	Geological technician	OJT
Q	Cartographer	OJT
R	PC technician	OJT
S	Cartographer	OJT
T	Librarian	OJT
U	Geologist	Seminar
V	Geologist	Seminar
W	Geologist	Seminar
X	Geologist	Seminar
Y	Geologist	Seminar
Z	Geologist	Seminar
AA	Geologist	Seminar
BB	Geologist	Seminar
CC	Geologist	Seminar

1.9 プロジェクトの日程

本プロジェクトは 2012 年 2 月に開始され、2013 年 7 月に完了した。この間に、4 次にわたるマラウイでの現地業務、5 次にわたる日本国内での作業および 1 回の本邦研修が実施され、5 種類のレポートが作成された。

(1) 第 1 次国内作業

- ・ 2012 年 3 月中旬～3 月下旬
- ・ 既存資料の収集、業務の内容・工程の検討、資機材の検討、インセプションレポートの作成
- ・ インセプションレポート提出：3 月下旬

(2) 第 1 次現地業務

- ・ 2012 年 3 月下旬～4 月中旬
- ・ インセプションレポートの報告、既存資料の収集、地質・鉱物資源情報の収集、人材育成方針の検討、資機材の調達

(3) 第 2 次国内作業

- ・ 2012 年 5 月上旬
- ・ 業務の課題等の検討、プログレスレポートの作成
- ・ プログレスレポート提出：5 月上旬

(4) 第 2 次現地業務

- ・ 2012 年 6 月上旬～9 月下旬
- ・ プログレスレポートの報告、資機材の設置、各種データの収集、衛星データ解析および GIS データベース作成の OJT、各種マニュアルの作成

(5) 第 3 次国内作業

- ・ 2012 年 10 月上旬
- ・ 業務の課題等の検討、インテリムレポートの作成
- ・ インテリムレポート提出：10 月上旬

(6) 第 3 次現地業務

- ・ 2012 年 10 月下旬～2013 年 2 月中旬
- ・ インテリムレポートの報告、各種データの収集、衛星データ解析および GIS データベース作成の OJT、各種マニュアルの作成、現地検証調査の実施、GIS データベースの作成、技術移転セミナーの実施

(7) 第 4 次国内作業

- ・ 2012 年 11 月下旬～2013 年 3 月上旬
- ・ 地質図の GIS データ化、ドラフトファイナルレポートの作成、本邦研修の準備
- ・ ドラフトファイナルレポート提出：3 月上旬

(8) 本邦研修

- ・ 2013 年 4 月中旬
- ・ 本邦における 3 名の C/P に対する研修

(9) 第 4 次現地業務

- ・ 2013 年 5 月下旬～6 月上旬

- ・ドラフトファイナルレポートの報告，アクションプランの作成，成果報告会の開催
- (10) 第5次国内作業
- ・2013年6月中旬
 - ・ファイナルレポートの作成
 - ・ファイナルレポート提出：7月上旬

2. 国内作業

日本国内における国内作業として、第1次（2012年3月）から第5次（2013年6月）までの国内作業が実施された。

2.1 第1次国内作業

第1次国内作業は第1次現地業務に先立ち2012年3月に実施された。

(1) 既存の関連資料の収集と整理

マラウイの鉱業に関連する資料および情報を収集し、鉱業に関連する基本政策、鉱業セクターの活動と役割、鉱業の振興と民間企業の投資促進のための課題などを把握し、本プロジェクトとの関連で検討すべき事項を分析した。以上をインセプションレポートの記述に反映させた。

マラウイの地質および鉱物資源に関連する資料、データ、文献などを収集した。地質と鉱物資源の概要についてはインセプションレポートに記述した。

(2) 国内関係機関の動向にかかる情報収集と分析

JOGMEC がマラウイで実施している探鉱プロジェクトについて情報を収集し、今後必要に応じて JOGMEC と情報交換していくことを確認した。

(3) プロジェクト全般の基本方針、実施方法、工程などの検討

プロジェクトの基本方針と業務内容を検討し、業務の実施方法および日程を策定した。人材育成については、OJT の方法、技術移転セミナーの時期と内容、本邦研修の時期と内容を検討し、実施案を策定した。

(4) 資機材とその調達方法の検討

現地業務に必要な資機材（衛星データ、ソフトウェア、ハードウェア）について検討し、種類、仕様および数量を決定した。また、それらの調達方法を検討した。衛星データ解析と GIS データベース作成の OJT で使用する重要なソフトウェアについては、他ドナーおよび近隣諸国での使用実績に基づき ENVI と ArcGIS を選定した。

(5) インセプションレポートの作成

本プロジェクトの基本方針、業務実施方法、作業工程および要員計画などを含む全体計画を記したインセプションレポートを作成した。その内容については事前に JICA に説明して協議した。

2.2 第2次国内作業

第2次国内作業は第1次現地業務終了後の2012年5月に実施された。

(1) プロGRESSレポートの作成

第1次現地業務までの業務実施結果をとりまとめたPROGRESSレポートを作成した。その内容については事前に JICA に説明して協議した。

(2) 資機材の調達

現地業務に必要な供与資機材（衛星データ，ソフトウェア，ハードウェア）について，日本とマラウイの業者に対して定められた手続きを取り，発注先を決定して，発注を行った。最終的に調達された供与資機材については第 4 章を参照。

(3) 第 2 次現地業務における OJT 実施案の策定

第 2 次現地業務で実施する OJT と日程の案を作成した。前半は衛星データ解析の講義と OJT，中盤は衛星データ解析の OJT および GIS データ作成の講義と OJT，後半は GIS データ作成の OJT という構成とした。

(4) 第 2 次現地業務以降の人材育成の取り組み

第 2 次現地業務以降での業務実施において，人材育成に対する概念図を図 2.1 に示す。OJT の実施内容については第 6 章，第 7 章，技術移転セミナーおよび本邦研修の実施内容については第 10 章を参照。

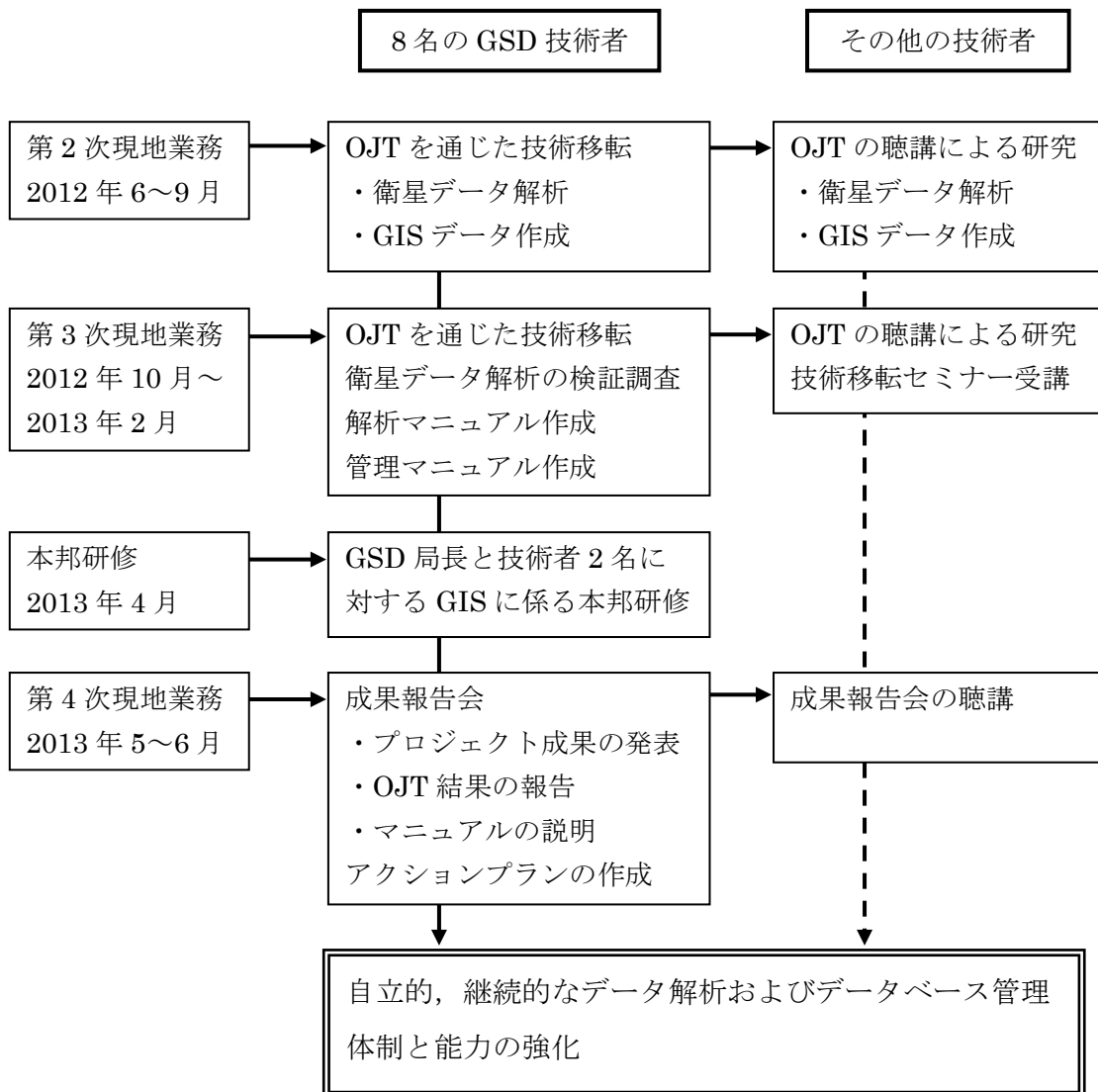


図 2.1 人材育成の計画概念

2.3 第3次国内作業

第3次国内作業は第2次現地業務終了後の2012年10月に実施された。

(1) インテリムレポートの作成

第2次現地業務までの業務実施結果をとりまとめたインテリムレポートを作成した。その内容については事前にJICAに説明して協議した。

(2) 第3次現地業務におけるOJT実施案の策定

第2次現地業務での業務進捗を考慮して、第3次現地業務で実施するOJTと日程の案を作成した。第3次現地業務の前半は衛星データ解析のOJT、同後半はGISデータ作成のOJTという構成とした。

2.4 第4次国内作業

第4次国内作業は第3次現地業務終了後の2012年11月から2013年3月にかけて実施された。

(1) 地質図のGISデータ化

2012年11月から2013年1月にかけて、既存の地質図20葉をGISデータ化する作業を実施した。

同時期の調査団がマラウイに不在の間でも、C/Pは独力で地質図のデジタル化作業を継続して行っており、調査団は電子メールで連絡を取りながら、バックアップした。

(2) 第4次現地業務内容の検討

第4次現地業務で実施する成果報告会の日程と内容を検討した。

(3) 本邦研修内容の検討

2013年4月に実施予定の本邦研修の日程と内容を検討し、準備を行った。

(4) ドラフトファイナルレポートの作成

第3次現地業務までの業務実施結果をとりまとめたドラフトファイナルレポートを作成した。その内容については事前にJICAに説明して協議した。

2.5 本邦研修

本邦研修は2013年4月12日から21日にかけて実施された。日程表を表2.1に示す。

(1) 参加者

- ・ GSD 局長代行
- ・ GSD 主席地質技術者
- ・ GSD 主席地質技術者

(2) 日程

表 2.1 本邦研修の日程表

月日	時間	内容	場所
4月12日(金) ～14日(日)		移動 (Lilongwe－Tokyo)	
4月15日(月)	10:00～12:00	研修ブリーフィング	JICA 東京 (TIC)
	14:00～15:00	事業概要, 研修についての説明	JICA 本部
	15:40～16:20	挨拶, 研修日程および内容の説明	住鉱資源開発株式会社 (SRED)
		移動 (根津－つくば)	
4月16日(火)	10:00～12:20	挨拶, 事業概要, 鉱物資源のタイプと成因	(独)産業技術総合研究所 (AIST)
	13:10～17:30	非金属鉱物資源 鉱物学から見たレアアース資源 リモートセンシングと鉱床探査	
4月17日(水)	10:00～12:00	鉱物分析機器の見学と説明	(独)産業技術総合研究所
	13:00～15:00	岩石・鉱物標本の見学	AIST 地質標本館
		移動 (つくば－TIC)	
4月18日(木)	10:00～12:00	事業内容, ASTER・PALSAR・ HISUI プロジェクト, リモセンデ ータベース作成プロジェクト, 衛星データの検索・配布システム	(財)宇宙システム開発利 用推進機構 (JSS)
	14:00～17:00	挨拶, 事業概要, 金属鉱物資源探査の現状と業界の チャレンジ, 深海底資源の開発	(独)石油天然ガス・金属 鉱物資源機構 (JOGMEC)
4月19日(金)	10:00～12:00	報告準備	JICA 地球ひろば (市ヶ 谷)
	14:00～15:00	研修結果の報告, 今後の方針の協 議	
	15:00～18:00	マラウイ鉱業分野セミナー: マラウイ鉱業セクターの現状と政 策, 投資	
	18:00～19:00	名刺交換・交流会	
4月20日(土) ～21日(日)		移動 (Tokyo－Lilongwe)	

2.6 第5次国内作業

第5次国内作業は第4次現地業務終了後の2013年6月に実施された。

(1) ファイナルレポートの作成

第4次現地業務までの業務実施結果をとりまとめたファイナルレポートを作成した。その内容については事前に JICA に説明して協議した。

3. 現地業務

マラウイにおける現地業務として、第1次（2012年3月）から第4次（2013年6月）までの現地業務が実施された。

3.1 第1次現地業務

3.1.1 業務目的

- ・インセプションレポートの提出
- ・プロジェクトの全体計画の説明と業務内容の協議
- ・人材育成方針の検討
- ・各種の情報収集と分析
- ・資機材の検討と調達

3.1.2 調査団

- ・小沼 工 / ONUMA Takumi : 総括／関連情報整備（団長）
- ・武田 祐啓 / TAKEDA Masahiro : リモートセンシング／マッピング・鉱物評価
- ・小林 浩久 / KOBAYASHI Hirohisa : 鉱物資源データベース／GIS

3.1.3 業務日程

第1次現地業務は2012年3月31日から4月19日にかけて実施された。主要業務の日程を表3.1に示す。調査団全員が同じ日程で行動した。

表 3.1 第1次現地業務の主要業務日程

月 日	内 容
4月2日(月)	MNREE 表敬訪問(午前, 午後):調査計画の説明 GSD リロングウェ支所訪問(午後):調査計画の説明
4月3日(火)	資材調達候補店舗訪問(午前):機材購入方法の説明, 見積り内容の確認 世銀コーディネータ表敬訪問(午後):調査計画の説明, 情報交換
4月4日(水)	移動:リロングウェーゾンバ(午前) GSD 表敬訪問(午後):調査計画の説明
4月5日(木)	GSD 訪問:インセプションミーティング(午前):3.1.5 項参照 物品購入(午後)
4月10日(火)	GSD 打合せ(午前):調査方針の協議, 情報収集 インセプション M/M 締結(午後)
4月11日(水)	GSD 打合せ(午前):次回調査計画等の説明 移動:ゾンバーリロングウェ(午後)

4月12日(木)	資材調達候補店舗訪問(午前):調達先の選定結果を通知,購入依頼
4月13日(金)	資材調達準備:仕様等の確認 日本大使館表敬訪問(午後):調査計画の説明
4月16日(月)	資材調達準備:仕様等の確認

3.1.4 業務実施内容

(1) 地質・鉱物資源の情報の把握

(a) 既存の地質図

- ・ 100 万分の 1 地質図 (マラウイ全土, 1966 年作成) : 1 葉
- ・ 10 万分の 1 地質図 (マラウイ全土, 1960 年代から 1970 年代に作成) : 40 葉
- ・ 5 万分の 1 地質図 (Ngana Coalfield, Chilwa Island, Tundulu Carbonatite Complex, Nathace Hill, Kangankunde Carbonatite Complex) : 5 葉

(b) 既存の鉱物資源データ

- ・ 100 万分の 1 の鉱物資源図 (マラウイ全土, 2000 年コンパイル) : 1 葉

(c) その他の調査データ

- ・ 100 万分の 1 の空中磁気探査図 (マラウイ全土, 2000 年コンパイル) : 1 葉
- ・ 25 万分の 1 の空中磁気探査図

(d) その他の関連データ

- ・ 25 万分の 1 地形図 (マラウイ全土) : 10 葉
- ・ 5 万分の 1 地形図 (マラウイ全土) : 162 葉
- ・ 市町村境界, インフラなどのデジタルデータ (マラウイ全土)
- ・ 航空写真

地質図, 鉱物資源図, 物理探査図 (いずれも印刷物) は GSD にて入手可能である。それ以外のデータについては, 他の政府機関にて購入可能である。

(2) 実施体制・人材状況等の把握

(a) GSD の体制

- ・ 局長 (当時) は Dr. Leonard S. N. Kalindekafe。
- ・ M/M に含まれた組織図 (図 1.4) からの変化はなし。2012 年 4 月に新大統領が就任したことで, 後日, 省庁組織の変更が行われた。
- ・ 2012 年 4 月時点での技術者数は以下のとおり。

地質専門家 (geologist) : 14 名, 地球化学専門家 (geochemist) : 2 名, 探査技術者 (prospector) : 3 名, 地震専門家 (seismologist) : 1 名, 地図製作者 (cartographer) : 1 名, 図書館員 (librarian) : 1 名, 地質技術助手 (geological technician) : 6 名, 地震研究助手 (seismological technician) : 10 名

- ・ 7 月 (マラウイの新年度) に 10 数名の技術者を新たに雇用する計画がある。

(b) 技術移転の対象者

- ・選出された 10 名の技術者を表 3.2 に示す。同表に各人の研修履歴（JOGMEC のボツワナリモセンセンターと JICA-MINETEC の課題別研修）を併記する。ただし、第 2 次現地業務開始時に OJT の対象者は表 3.5 に変更された。

表 3.2 技術移転の対象者リスト(当初計画)と研修経歴

	Position	JOGMEC Seminar in Botswana Remote Sensing Center	JICA Seminar in MINETEC Kosaka, JAPAN
A	Principal geologist	5 weeks: Aug to Sep 2010 2 weeks: Jun 2011	—
B	Geologist	5 weeks: Aug to Sep 2010 2 weeks: Jun 2011	5 weeks: Feb to Mar 2010
C	Geologist	5 weeks: Aug to Sep 2010 2 weeks: Jun 2011	—
D	Geologist	2 weeks: Jun 2011	—
E	Geologist	—	—
F	Geologist	—	—
G	Geologist	—	—
H	Geologist	1 week: Jul 2009	5 weeks: Feb to Mar 2011
I	Geologist	1 week: Jul 2009	6 weeks: Feb to Mar 2012
J	Cartographer	—	—

(3) 人材育成方針の検討

(a) 初期のトレーニング（ENVI を使用した衛星データ解析および ArcGIS を使用した GIS データ作成）

- ・6月12日からの4日間（衛星データ解析）と7月2日からの4日間（GIS データ作成）で行う計画であるが、カウンターパートの経験と技術力に応じて、日数を変更することで合意した。

(b) OJT を通じた技術移転

- ・供与される 5 台のパソコンを使用した全般的な技術移転の内容と方法については問題がないことを確認した。
- ・衛星データ解析に対する現地検証としてマラウイ南部で 1 週間程度が計画されているが、GSD 局長から対象地域と日数を増やすような要望があった。

- ・現地検証の重要性は認識しているが、プロジェクトの本来の目的と日程を考慮すると、これ以上増やすことは困難であると調査団が回答し、GSD 局長の了解を得た。
 - ・このような現地検証または現地調査は、今後の課題として提言することで合意した。新規のプロジェクトとして提言することも可能である。
 - ・OJT の対象は 10 名となっているが、OJT を見学することで一人でも多くの技術者を育てたいとの GSD 局長の要望があり、調査団は見学者の受け入れを了承した。
- (c) 技術移転の成果を把握するためのテストの実施
- ・主たる目的が技術移転であることから、客観的に判断する材料としてテストの必要性を確認した。
- (d) 衛星データ解析の課題研修の実施
- ・OTJ だけではなく、C/P が自主的な作業を行うような試みは評価された。
 - ・課題とする対象地区はゾンバの近傍とすることを C/P から要望され、調査団は了承した。
 - ・ゾンバ近傍の地区であれば、C/P が独自に現地を訪れて、データ解析結果の検証等を行うことが可能になる。
- (e) 成果報告会での発表
- ・技術移転の成果を報告する機会が設定されることは評価された。
 - ・成果報告会では 10 名の C/P 全員が発表することを確認した。
- (f) 技術移転セミナーの実施
- ・セミナーを開催して、OJT 対象の 10 名以外の C/P に対しても衛星データ解析や GIS データ作成の講習を行うことは評価された。
- (g) 本邦研修の実施
- ・日本における研修の時期と人数について確認した。
 - ・GSD 局長以外の参加者 2 名は、OJT での成績が優秀な C/P が選ばれることが基本になることを調査団は言及した。
- (h) 全体評価
- ・OJT の対象者が最低でも 10 名となることは GSD にとって極めて有益であること、さらに OJT およびセミナーを通じてより多くの技術者への技術移転も可能となることは非常に高く評価された。
- (4) 資機材の設置方針の確定
- ・GSD に供与される資機材の内容および数量について合意した。最終的に供与された資機材の一覧を表 4.1 に示す。
 - ・GSD の現会議室を OJT 専用の実施場所とし、PC、プリンタ等の必要な資機材を設置することで合意した。
 - ・GSD は JICA から供与される資材以外に必要な机、椅子、エアコンなどの設備を用意することを確認した。
 - ・調査団の控え室として、必要に応じて現会議室に隣接する部屋（本来の使用者が長期の研修で不在）を使用することを確認した。
 - ・リロングウェで調達するハードウェアは 5 月中に GSD に納品され、調査団が次回に

訪問する 6 月上旬に設置するため、それまでに GSD が OJT 用の部屋の準備を完了することを確認した。

- ・インセプションミーティングにおいて、GSD は発電機の供与を要望したが、電気供給に係る機材はプロジェクトに必要な設備とみなされ、本プロジェクトの M/M と R/D に従い GSD が用意すべきものであることを確認した。
- ・以上の要領で資機材が適正に設営されることで、衛星データ解析と GIS データベース構築の OJT が可能となり、さらに技術移転が確実に効果的に実施されることを確認した。

(5) GSD における課題等の把握 (GSD からの聴取事項)

(a) GSD の組織と人員

- ・職員の技術力は不十分であり、専門家によるトレーニングおよび指導の機会が必要である。
- ・技術力不足は技術の継承を困難にしている。
- ・技術を習得した職員の減少が GSD 組織を脆弱なものにしている。
- ・IT 技術が不足しているため、システムが構築されない。
- ・職員の技術力向上のために、専門家による OJT が不可欠である。

(b) GSD の施設

- ・データ管理施設を拡張する必要がある。
- ・図書室にはスペースが足りない。
- ・岩石試料やボーリングコアを保管するための施設が不足している。
- ・地質博物館あるいは標本館が必要とされる。

3.1.5 インセプションミーティング

調査団は英文のインセプションレポートを持参して、4 月 4 日に GSD に提出した。インセプションミーティングは、4 月 5 日の 10 時から 12 時まで、GSD の会議室において実施された。参加者リストを表 3.3 に示す。

表 3.3 インセプションミーティング参加者リスト

Name	Position
Geological Survey Department (GSD)	
A	Director
B	Principal Geologist
C	Senior Geochemist
D	Geologist
E	Geologist
F	Geologist
G	Geologist
H	Geologist
I	Geologist
J	Geologist
K	Senior Seismology Technician
Japan International Cooperation Agency (JICA)	
Yoshitaka Hosoi	Senior Advisor, JICA Headquarter
Hiroki Tazawa	Project Formulation Advisor, JICA Malawi office
Michael Malewezi	Programme Officer, JICA Malawi office
Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd. (SRED)	
Takumi Onuma	Leader of the project team, Chief geologist
Masahiro Takeda	Geophysicist
Hirohisa Kobayashi	Geologist

3.2 第2次現地業務

3.2.1 業務目的

- ・ プロGRESSレポートの報告
- ・ 資機材の調達, 検収および設置
- ・ 資料収集
- ・ 技術移転の内容と日程の検討
- ・ 衛星データ解析および GIS データベース作成に係る OJT による技術移転
- ・ 各種マニュアルの作成

3.2.2 調査団

- ・ 小沼 工 / ONUMA Takumi : 総括/関連情報整備 (団長)
- ・ 武田 祐啓 / TAKEDA Masahiro : リモートセンシング/マッピング・鉱物評価
- ・ 小林 浩久 / KOBAYASHI Hirohisa : 鉱物資源データベース/GIS

3.2.3 業務日程

第2次現地業務は2012年6月4日から9月20日にかけて実施された。主要業務の日程を表3.4に示す。調査団員によって従事日程は以下のように異なる。

- ・ 小沼 : 6月4日～7月9日, 8月26日～9月20日 (計62日間)
- ・ 武田 : 6月4日～9月1日 (90日間)
- ・ 小林 : 6月25日～9月20日 (88日間)

表 3.4 第2次現地業務の主要業務日程

月 日	日 程
6月5日(火)	資機材調達, 新規資機材の仕様等の確認
6月6日(水)	日本大使館訪問(午前):今次業務の計画説明
6月8日(金)	GSD 打合せ:今次業務の計画説明
6月9日(土) ～13日(水)	調達資材の検収および設置
6月14日(木) ～24日(日)	衛星データ解析のトレーニング, 衛星データ解析の OJT (詳細内容は表 3.6)
6月25日(月) ～9月12日(水)	データ収集, GIS のトレーニング, 衛星データ解析の OJT, GIS の OJT(詳細内容は表 3.6)
9月17日(月)	日本大使館訪問:業務結果の報告

3.2.4 供与機材の設置

マラウイおよび日本で調達した資機材を 2012 年 6 月中下旬に GSD に設置した。第 1 次現地業務の際には OJT 用の部屋として GSD の会議室を使用する計画であったが、6 月上旬に GSD を訪問したところ、製図室を使用するように要請された。製図室の方が会議室よりもやや大きいことから、調査団はこれを了承して、資機材設置のためのスペース確保と清掃が行われた。

日本で調達した資機材は、調査団の渡航時に航空機の受託手荷物としてマラウイに持ち込み、ゾンバの GSD に運んだ。マラウイ（リロングウェ）で調達した資機材は直接ゾンバの GSD に納入された。GSD は OJT 専用新しい机と椅子を購入した。

OJT で使用しているデータおよび資機材を表 4.1、ハードウェア類の写真を図 4.1、4.2 に示す。これらは本プロジェクトの終了後に GSD に供与される。

3.2.5 OJT 対象者

OJT による技術移転を受ける対象者として、GSD から表 3.5 の 13 名が指名された。第 1 次現地業務時に提示された対象者（表 3.2）に比べて、2 名が変更され、5 名が増員となった。しかし、表 3.5 に示す出席状況から明らかなように、特に技術研修経験を有する C/P は最初の講義に出席しただけで、その後の OJT には参加していない。7 月上旬には、この 4 名が OJT に継続的に参加できる状況にないことが判明した。

OJT の当初方針では、13 名を 5 名の経験者グループ（表 3.5 の上位 5 名）と 8 名の未経験者グループに区分して、グループ別に技術レベルに応じた OJT を午前と午後に分けて実施する計画とした。しかし、実際には経験者グループが出席してこないことから、7 月からは未経験者グループが OJT を終日受けるようにした。

表 3.5 OJT 対象者と出席率

		職種	研修経験	OJT 出席状況
1	A	地質	有	冒頭 6 月中旬の数日のみ出席
2	B	地質	有	なし
3	C	地質	有	冒頭 6 月中旬の数日のみ出席
4	D	地質		冒頭 6 月中旬の数日のみ出席
5	E	地質	有	一時期不在で、9 月に作業分担
6	F	地質助手		80%以上の出席
7	G	地質		80%以上の出席
8	H	地質		80%以上の出席
9	I	地質助手		80%以上の出席
10	J	製図		80%以上の出席
11	K	PC 技師		80%以上の出席
12	L	製図		80%以上の出席
13	M	図書		80%以上の出席

3.2.6 OJT の方針

OJT の実施方針等を検討して、以下の要領で OJT を実施することを確認した。

(1) グループ分け

衛星データ解析などの研修経験に従い（表 3.5 参照）、C/P 13 名を 2 つのグループに分けて、午前／午後の入れ替え制とする。

- ・午前：グループ B：未経験者（初心者～中級者）8 名：表 3.5 の 6～13
- ・午後：グループ A：経験者 5 名：表 3.5 の 1～5

しかし、グループ A の出席者が 6 月末に途絶えたことから、7 月からはグループ B の 8 名が終日 OJT を受けるように変更した。

(2) 日程

月曜から金曜まで（マラウイ国の祭日を除く）の週 5 日で OJT を実施する。原則的には、以下の時間帯とする。出席表にて毎日の C/P の出欠を確認する。

- ・午前：9:00－10:30, 10:45－12:00
- ・午後：13:30－15:00, 15:15－16:30

ただし、7 月中旬に GIS の OJT が始まり、GIS データ作成の進捗の遅れが明白になった 8 月からは、一部の C/P は上記時間外にも自主的に作業を行うことが増えた。さらに、1 名はしばしば土日曜日にも作業を行った。

(3) 工程

原則として、週単位で衛星データ処理または GIS の OJT とする。必ずしも交互に実施することではなく、両者の進捗に従い日程を組む。また、なるべく作業が連続・繰り返しとなるような（習得しやすい環境とする）工夫をする。

(4) 方針

冒頭の OJT を実施していく中で C/P の技術レベルに非常に大きな差が確認されたため、レベルに合わせた講習を行い、質と量を調整した実作業を与えていくことにする。技術レベルに従い 3 つのグループに分けた方針を以下に示す。

a) 経験者グループ

取り扱うデータおよび作業手順の内容をほぼ理解できることから、手順を教え込み、一通りの作業を実行させる。

衛星データ処理では、データ前処理から解析画像作成までの一連の作業とその手順を覚えさせる。その上で、より多くのデータの解析作業を行わせる。GIS データ作成では、1 葉の地質図のデジタル化を完成させる一連の操作と手順を覚えさせる。また、中・初級者に対する技術指導を行う立場にあることを認識させる。

b) 中級者グループ

ソフト操作とデータ処理の経験を積むことで、現在の経験者グループと同レベルに達することが可能であると考えられる。最初は部分的な作業を繰り返して行わせて、

ソフトに慣れさせてから、一通りの作業を実行させる。

衛星データ処理では、重要なデータ処理の作業とその手順を教え込む。その上で、一連の作業とその手順を覚えさせる。GIS データ作成では、データ作成の手順を教え込み、地質図のデジタル化を完成させる一連の操作と手順を覚えさせる。

c) 初級者グループ

ENVI および ArcGIS の操作資料（講習資料）や手順書を見ても、独力では操作を行えないことから、一連の作業を任せることは難しい。部分的な作業を繰り返して行わせて、少しでも衛星・GIS データやソフトに慣れてもらい、特定の部分の作業手順を会得させる。

衛星データ処理では、簡単なデータ処理の部分作業とその手順を教え込む。独力で部分的な作業を完工できるようになった時点で、別の作業に移ってもらう。GIS データ作成では、データ作成の手順を教え込み、部分的にでも間違いなく作業できるように繰り返しの作業を行わせる。

3.2.7 OJT の内容

第 2 次現地業務で実施された OJT の日程と内容を表 3.6 に示す。

表 3.6 第 2 次現地業務の OJT の内容と日程

月 日	ENVI による衛星データ解析	ArcGIS による GIS データ作成	備考
6 月 14 日、 15 日、 18 日、 19 日	<ul style="list-style-type: none"> 衛星リモートセンシングデータおよびスペクトルの理論 スペクトルメータを使用したスペクトル測定 鉱物資源に係る衛星データ解析のケーススタディの紹介 	—	停電頻発 14 日: JICA 齋藤所長見学 15 日: 大使館 浅野見学
6 月 20 日 ～ 6 月 22 日	<ul style="list-style-type: none"> ENVI の基本操作方法 衛星データの入力と画像表示 画像データの数値表示 画像の比較 マスクデータの作成方法 	—	
6 月 25 日 ～ 6 月 29 日	<ul style="list-style-type: none"> マスクデータの作成方法 ASTER バンドの統合処理 正規化植生指数 (NDVI) の計算 植生のマスクの作成 水域, 雲, 雲影のマスクの作成 	—	29 日: フィンランド地質調査所の 2 名来所
7 月 2 日 ～ 7 月 5 日	—	<ul style="list-style-type: none"> GIS の理論 GIS で使用するデータの種類 ArcGIS の基本操作方法 コンピュータの基礎 ArcGIS の操作実習 	

7月9日 ～ 7月13日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ArcGIS の操作実習 ・ジオリファレンス ・座標データの表示方法 ・ハイパーリンク 	
7月16日 ～ 7月20日	<ul style="list-style-type: none"> ・カラー合成画像の作成と画像の GeoTIFF ファイルへの出力 ・バンド間演算 ・VNIR データのリサイズ ・統合マスクデータの作成 	—	
7月23日 ～ 7月27日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ペンタプレットの操作方法 ・地質図のトレース方法 ・地質図のデジタルトレース 	27日: 半日停電
7月30日 ～ 8月3日	<ul style="list-style-type: none"> ・VNIR データのリサイズ ・VNIR と SWIR データの統合 ・統合マスクデータの作成 ・バンド間演算 ・カラー合成画像の作成 	—	
8月6日 ～ 8月10日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図のスキャニング ・地質図のジオリファレンス ・地質図のデジタルトレース 	6日・7日: 半日停電
8月13日 ～ 8月17日	<ul style="list-style-type: none"> ・統合マスクデータの作成 ・バンド間演算 ・カラー合成画像の作成 	—	13日: JICA 大仲専門家, 他2名来所
8月21日 ～ 8月24日	<ul style="list-style-type: none"> ・統合マスクデータの作成 ・バンド間演算 ・カラー合成画像の作成 	—	
8月27日 ～ 8月31日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図のデジタルトレース 	
9月3日 ～ 9月7日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図のデジタルトレース ・ペンタプレットの操作方法 	
9月10日 ～ 9月12日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図のデジタルトレース 	

3.3 第3次現地業務

3.3.1 業務目的

- ・ インテリムレポートの報告
- ・ 資料収集
- ・ 衛星データ解析および GIS データベース作成に係る OJT による技術移転
- ・ 各種マニュアルの作成
- ・ 技術移転セミナーの実施

3.3.2 調査団

- ・ 小沼 工 / ONUMA Takumi : 総括／関連情報整備 (団長)
- ・ 武田 祐啓 / TAKEDA Masahiro : リモートセンシング／マッピング・鉱物評価
- ・ 小林 浩久 / KOBAYASHI Hirohisa : 鉱物資源データベース／GIS

3.3.3 業務日程

第3次現地業務は、2012年10月27日から12月7日までの前半日程と2013年1月6日から2月15日までの後半日程の2回に分けて実施された。前半業務は衛星データ解析のOJTと解析結果の現地検証調査からなり、後半業務はGISデータ作成のOJT、GISデータベースの作成および技術移転セミナーの開催からなる。主要業務の日程を表3.7に示す。調査団員によって従事日程は以下のように異なる。

- ・ 小沼：2012年10月27日～11月20日、2013年1月23日～2月15日
(計49日間)
- ・ 武田：2012年10月27日～12月7日(42日間)
- ・ 小林：2013年1月6日～2月15日(41日間)

表 3.7 第3次現地業務の主要業務日程

月 日	前半日程
10月29日(月)	日本大使館訪問(午前):今次業務計画の説明
10月30日(火)	森林局セミナー参加(終日)
11月1日(木)	GSD 打合せ:今次業務計画の説明
11月2日(金) ～3日(土)	OJT(衛星データ解析結果の検証調査)のための書類作成と事前説明
11月5日(月) ～9日(金)	OJT(衛星データ解析結果の検証調査)
11月10日(土) ～12月4日(火)	GIS データベース作成, データ解析の OJT(詳細内容は表 3.8)

月 日	後半日程
1月9日(水)	GSD 打合せ:今次業務計画の説明
1月10日(木) ～28日(月)	GIS の OJT(詳細内容は表 3.8), GIS データベース作成 技術移転セミナーの準備
1月29日(火) ～2月1日(金)	技術移転セミナー(3.3.6 項参照)
2月2日(土) ～8日(金)	GIS の OJT(詳細内容は表 3.8), GIS データベース作成
2月12日(火)	日本大使館訪問(午前):今次業務結果の報告

3.3.4 OJT 対象者

第2次現地業務に引き続き、8名のC/P(表3.5の下位8名)を対象としてOJTを実施した。

3.3.5 OJT の内容

第3次現地業務で実施されたOJTの日程と内容を表3.8に示す。

なお、調査団が不在となった第2次現地業務と第3次現地業務の間(9月中旬から11月上旬)および第3次現地業務の前半と後半の間(12月)に、OJTの一環としてC/Pは独力で地質図のGISデータ化の作業を実施した。その結果、全40葉のうち20葉の地質図がC/Pによってデジタル化された。残りの20葉については、調査団が国内作業としてデジタルトレースを実施した。

表 3.8 第 3 次現地業務の OJT の内容と日程

前半 日程	月 日／週	ENVI を使用した衛星データ解析
	11 月 5 日～11 月 9 日 第 1 週	・ASTER データ解析結果の現地検証調査(6.4 節参照) 5～7 日:ゾンバ北西方, 北方, 西方 8～9 日:ブランタイア南西方, 東方
	11 月 12 日～11 月 16 日 第 2 週	・現地検証調査のまとめ ・ASTER データ解析のまとめ
	11 月 19 日～11 月 23 日 第 3 週	・PALSAR データ解析 ・リニアメントの抽出
	11 月 26 日～11 月 30 日 第 4 週	・GIS データベースの作成 ・データ解析マニュアルの作成
後半 日程	月 日／週	ArcGIS を使用した GIS データベース作成
	1 月 8 日～1 月 11 日 第 5 週	・GIS データ作成のまとめ ・ポリゴンの修正
	1 月 14 日～1 月 18 日 第 6 週	・GIS データ作成のまとめ ・地質図の作成
	1 月 21 日～1 月 25 日 第 7 週	・地質図の作成とプリント方法
	1 月 29 日～2 月 1 日 第 8 週	・技術移転セミナーの開催(3.3.6 項参照)
	2 月 4 日～2 月 8 日 第 9 週	・GIS データベースの作成

3.3.6 技術移転セミナー

以下の要領で技術移転セミナーを実施した。

(1) 参加者

調査団からは GSD 局長に対して、本セミナーの対象を 2012 年に入局した新人地質技術者を主体とし、参加人数は最大 10 名とすることを要望した。その結果、表 3.9 に示す 10 名の GSD 技術者が参加した。

(2) 日程

2013 年 1 月 29 日（火）から 2 月 1 日（金）の 4 日間
午前：9 時から 12 時まで、午後：13 時 30 分から 4 時 30 分まで

(3) 場所

GSD 内、OJT 専用室（製図室）
OJT で使用している供与機材のパソコン 5 台を使用した。

(4) 内容

- ・ 1 日目：リモートセンシングの理論，ASTER データの解析実例，ENVI でのデータ解析実習
- ・ 2 日目：ENVI でのデータ解析実習
- ・ 3 日目：GIS の理論，ArcGIS の使用方法，ArcGIS を使用した実習
- ・ 4 日目：ArcGIS を使用した GIS データ作成の実習

表 3.9 技術移転セミナー参加者

		Position	Remarks
1	A	Geologist	New face
2	B	Geologist	New face
3	C	Geologist	New face
4	D	Geologist	New face
5	E	Geologist	New face
6	F	Geologist	New face
7	G	Geologist	
8	H	Geologist	
9	I	Senior geochemist	Two days participation
10	J	Geologist	Half day participation

3.3.7 第 3 次現地業務までに完了した成果

(1) 衛星データ解析

(a) ASTER データ (79 シーン)

- ・ 前処理 (マスクの作成，バンド統合データの作成)
- ・ 5 種類のバンド合成画像
- ・ 2 種類の比演算処理画像
- ・ 主成分分析 (一部地域のみ)

(b) PALSAR データ (64 シーン)

- ・ モザイク処理
- ・ リニアメント抽出 (一部地域のみ)

(c) マニュアル作成

- ・ 衛星データ解析

(2) 地質 GIS データ作成

(a) 10 万分の 1 地質図 (40 葉)

- ・ スキャン
- ・ ジオリファレンス
- ・ デジタルトレース (20 葉)

注) 調査団は 20 葉のデジタルトレースを日本国内で実施した。

- ・ 地質データ化 (40 葉)

(b) マニュアル作成

- ・ GIS データ作成
- ・ 図の作成と印刷

(c) 鉱物資源図

- ・ GIS データ作成

(3) その他の GIS データ

(a) データ収集

- ・ 道路, 鉄道, 河川, 湖, 行政界, 国境, 市町村, 自然公園, 保護地区など

(4) GIS データベース構築

(a) GIS データベース作成

- ・ 上記の衛星データ解析結果, 地質図および収集 GIS データは, ひとつのデータベースとして取りまとめられた。

(b) マニュアル作成

- ・ データベース管理

3.4 第4次現地業務

3.4.1 業務目的

- ・ドラフトファイナルレポートの報告，内容の協議
- ・アクションプランの作成
- ・成果報告会（Workshop）の開催

3.4.2 調査団

- ・小沼 工 / ONUMA Takumi : 総括／関連情報整備（団長）
- ・武田 祐啓 / TAKEDA Masahiro : リモートセンシング／マッピング・鉱物評価
- ・小林 浩久 / KOBAYASHI Hirohisa : 鉱物資源データベース／GIS

3.4.3 業務日程

第4次現地業務は2013年5月18日から6月1日にかけて実施された。主要業務の日程を表3.10に示す。調査団全員が同じ日程で行動した。

表 3.10 第4次現地業務の主要業務日程

月 日	日 程
5月21日(火)	GSD 打合せ:ドラフトファイナルレポートの提出, レポート内容の説明
5月22日(水) ～23日(木)	アクションプランの作成, 成果報告会の準備
5月24日(金)	成果報告会(Workshop)の開催(3.4.5項参照)
5月27日(月)	鉱山省世銀担当者を訪問:情報交換, 調査内容の説明 日本大使館訪問:調査結果の報告
5月28日(火)	鉱山省次官訪問:調査結果の報告

3.4.4 アクションプラン

本プロジェクトにおける技術移転の人的成果を今後どのように生かしていくか，成果物をどのように活用していくか，マラウイ国の鉱業発展にどのように寄与していくか，などについてC/Pと協議の上でアクションプランを作成した。

3.4.5 成果報告会（Workshop）

(1) 出席者：合計78名

鉱山省，鉱山局，GSD（国内各所），民間企業，大学関係者，ゾンバ警察など地元関係機関，新聞社，JICAマラウイ事務所，JICA調査団など

(2) 場所：ゾンバ市内，Masongola Hotel，Conference Room

(3) 月日：2013年5月24日（金），9時から15時まで

(4) プログラム

- ・出席者による自己紹介
- ・開会の祈り：GSD 人材管理副担当
- ・開会の講演：GSD 局長代行
- ・開会のスピーチ：JICA マラウイ事務所次長
- ・プロジェクト概要：小沼，JICA 調査団長
- ・リモートセンシングデータ解析と OJT：武田，JICA 調査団員
- ・休憩
- ・GIS データベース作成と OJT：小林，JICA 調査団員
- ・プロジェクト成果：小沼，JICA 調査団長
- ・OJT とその成果：GSD 技術者
- ・OJT/地質図説明書のスキャン：GSD 技術者
- ・質疑，応答
- ・ポスターセッション：JICA 調査団員
- ・昼食休憩
- ・OJT と感想：GSD 技術者
- ・OJT と感想：GSD 技術者
- ・OJT と感想：GSD 技術者
- ・本邦研修：GSD 技術者
- ・JICA の研修の紹介：GSD 技術者
- ・質疑応答
- ・閉会の挨拶：GSD 局長代行
- ・開会の祈り：GSD 人材管理副担当
- ・閉会

4. 供与機材

現地業務に必要な供与資機材（衛星データ，ソフトウェア，ハードウェア）について，第 1 次国内作業において機種，仕様，数量等を検討した。その結果に基づき，日本およびマラウイの業者に対して定められた手続きを取り，発注先を決定して，発注を行った。供与資機材の一覧を表 4.1，ハードウェア類の写真を図 4.1 および 4.2 に示す。これらは本プロジェクトの終了後に GSD に供与される。

日本で調達した資機材は，調査団が第 2 次現地業務の渡航時に航空機の受託手荷物としてマラウイに持ち込み，ゾンバの GSD に運んだ。マラウイ（リロングウェ）で調達した資機材は直接ゾンバの GSD に納入された。GSD は OJT 専用新しい机と椅子 8 セットを購入した。調査団はこれらの資機材を 2012 年 6 月中～下旬に GSD の製図室に設置した。

4.1 選定理由

(1) 衛星データ

プロジェクトの基本方針として本邦技術の活用があり，日本の人工衛星センサである ASTER と PALSAR のデータを選択した。ASTER データは光学センサデータであり，高解像度の多バンドデータという特徴を有する。PALSAR データは L バンド（波長 23.6cm）の合成開口レーダ（SAR）センサデータであり，多偏波の観測モードと高分解能という特徴を有する。この他に，無料でダウンロード可能な LANDSAT データおよび ASTER GDEM データを入手した。

(2) ソフトウェア

衛星データ解析のソフトウェアとしては，世界的に普及しており，特に南アフリカ諸国では標準となっている Exelis VIS 社の ENVI を選択した。GIS データ作成およびデータベース構築のソフトウェアとしては，同様の理由で ESRI 社の ArcGIS for Desktop Basic を選択した。

レポートやプレゼンテーション資料の作成等に必要ソフトとして，世界的に汎用性のある Microsoft 社の Office 2010，Adobe 社の Illustrator と Acrobat を選択した。PC のウィルス感染を防止する目的で，世界的に普及し評価の高い Kaspersky Lab 社の Kaspersky Anti-Virus を導入した。

以上のソフトウェアのライセンス登録は調査団が実施した。

(3) ハードウェア

GSD では通常業務において，大型の地図を扱うことが多いため，大判のプリンタ&スキャナは必要不可欠である。世界的に普及し評価の高い HP 社の A0 サイズプリンタ&スキャナを選択した。地質図説明書等の地質書籍および資料等をデジタル化して保存するために，スキャン速度が速く，取扱いが簡単な Canon 社の A4 サイズスキャナも導入し

た。地質図説明書等の通常書類および簡単な図面等を印刷する目的で、安価な HP 社の A3 サイズのカラープリンタを選択した。

パーソナルコンピュータとモニタについては、世界的に普及し調達が容易な HP 社製とし、大容量の画像データおよび GIS データを扱うことを考慮して、高性能な仕様とした。GIS データ作成の操作性を向上する目的で大型ペンタブレットを導入した。

プロジェクタとスクリーンは OJT および講義に必要な機器であり、狭い場所での使用環境に合わせて、高解像度・高輝度の機種を選定した。停電が頻発する状況では無停電電源装置 (UPS) は必須であり、少しでも長く作業ができるように容量の大きな機種を選択した。しかしながら、UPS で作業できる時間は限られており、停電が数時間に及ぶことがあったため、Ryobi 社製の容量の大きな小型発電機を追加で導入した。

外付けハードディスクはデータのバックアップおよび成果品の保存に必要である。作業用と保存用として大容量の 2 台を導入した。GPS は衛星データ解析の OJT である検証調査において、目的地へのルート選択および位置データの取得に必要である。世界的に普及している Garmin 社の高性能な機種を選択した。イーサネットハブは OJT 専用室内でのイントラネット構築に必要である。5 台の PC, 2 台の外付けハードディスク, A0 サイズプリンタ, A3 サイズプリンタおよび調査団員の PC を有線 LAN で接続した。

(4) 消耗品

A0 サイズプリンタ用の各色インク 2 セットおよび予備用としてプリントヘッド 1 式を用意した。A3 サイズプリンタの各種インクについては、当初 3 セットを準備したが、使い切ったために、必要に応じて追加購入をした。A0 サイズのプリンタ用紙は、普通紙と写真用紙の 2 種類を各 2 ロール用意した。

PC 等の機材の盗難防止策として、スチール製のセキュリティワイヤー錠を用意した。PC 本体, PC モニタ, プロジェクタなどにこのワイヤーを取り付けて、机に固定した。

4.2 供与機材

上記理由に従って調達され、ゾンバの GSD に設置された供与資機材の一覧を表 4.1 に示す。すべての供与資機材は 2012 年に調達され、設置された。

表 4.1 供与機材一覧

区分	名称	型番・仕様等	数量	調達先
衛星データ	ASTER	L3A プロダクト, 正射影変換(オルソ化)	79 シーン	日本
	PALSAR	L1.5 プロダクト, HH 単偏波	64 シーン	日本
	LANDSAT	無料ダウンロード	12 シーン	WEB
	ASTER GDEM	無料ダウンロード	一式	WEB
ソフトウェア	ENVI	Ver.4.8, スタンドアロンライセンス	5	日本
	ArcGIS	Ver.10, スタンドアロンライセンス	5	日本
	Microsoft Office	Professional 2010	5	日本
	Illustrator	CS5	5	日本
	Acrobat	Standard	5	日本
	Kaspersky	Antivirus 2012, 2 年ライセンス	5	マラウイ
ハードウェア	デスクトップ型 PC キーボード・マウス付	HP Elite 7300 MT, 4 コア, 3.1GHz, 8GB RAM, Windows 7 Professional 64bits	5	マラウイ
	液晶モニター	HP 24 インチ, 1,920×1,200 ピクセル	5	マラウイ
	無停電電源装置	APC Smart-UPS SC, 240V/1kVA, 600W	6	マラウイ
	発電機	Ryobi, RG-2700, 2300W, 230V	1	マラウイ
	大型ペンタブレット	Wacom Intuos 4 (481mm×304mm)	5	日本
	外付けハードディスク	Baffalo, 4 TB, LAN 接続	2	マラウイ
	カラープリンタ&スキャナ	A0 判, HP Designjet T2300 eMFP	1	マラウイ
	カラープリンタ	A3 判, HP Officejet K8600	1	マラウイ
	フラットベッドスキャナ	A4 size, Canon, CanoScan LiDE210	1	日本
	プリントサーバ	Planex, MZK-SP300N2, Wi-Fi 接続	1	日本
	プロジェクタ	EPSON EB915W, WXGA, 3200 lmn	1	マラウイ
	プロジェクタスクリーン	i-View, 80 インチ, ワイド	1	マラウイ
	イーサネットハブ	CNet, 16 ポート	1	日本
	GPS	Garmin GPSmap62S	3	日本
消耗品	プリンタインクカートリッジ	HP72, HP88	一式	マラウイ
	プリンタ専用紙	A0 サイズロール紙(普通紙, 写真紙)	3	日本
	プリンタ用紙	A3・A4 サイズカット紙	一式	マラウイ
	HDMI ケーブル		1	マラウイ
	LAN ケーブル		10	マラウイ
	電源タップケーブル	マルチ電源プラグ複数口	8	マラウイ
	電源延長ケーブル		2	マラウイ
	盗難防止チェーン		一式	マラウイ

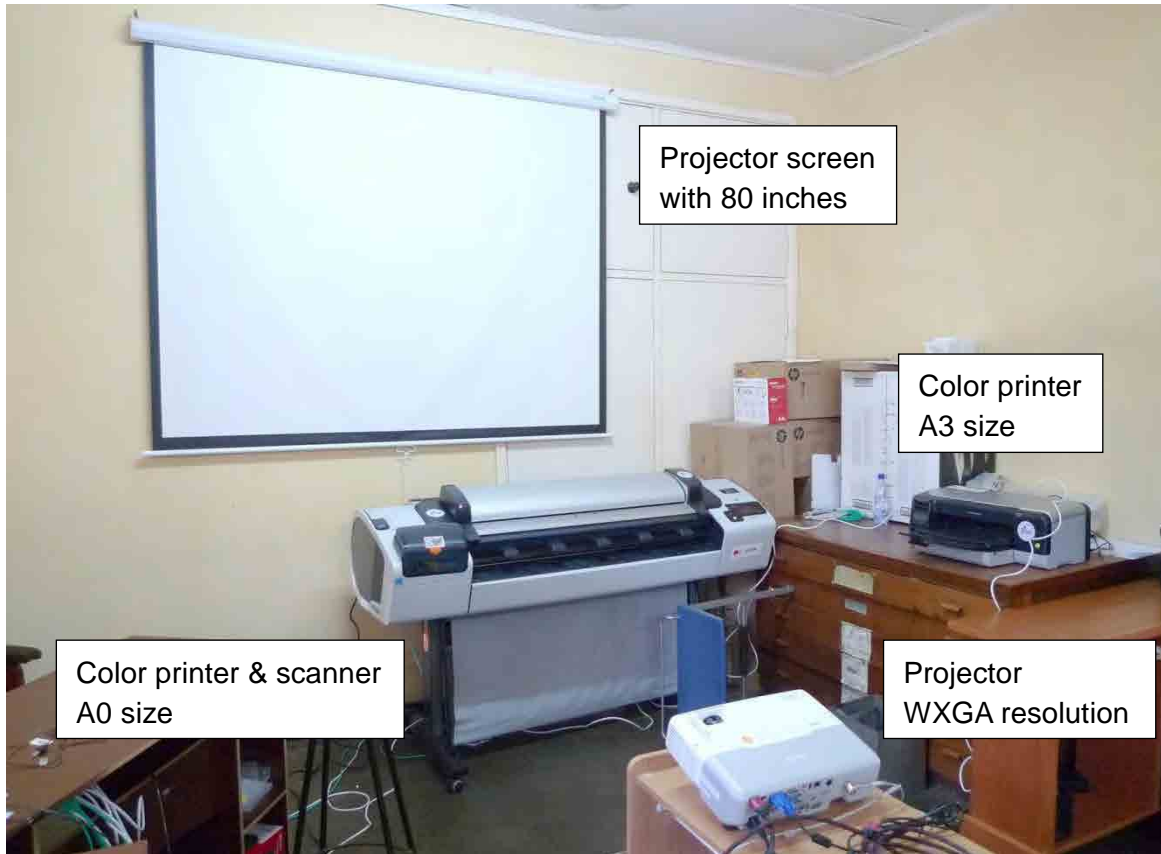


図 4.1 プリンタとプロジェクタ類の設置状況



図 4.2 PC と周辺機器類

5. 地質・鉱物資源の基礎情報

5.1 鉱業に関連する国の方針

5.1.1 鉱業に関連する政策

マラウイ政府は 2005 年に MGDS 2006-2011 を策定し、その基本理念は「貧困からの脱却を達成する手段としての持続的な経済成長とインフラ開発を通じて富を創造すること」とされている。MGDS 2006-2011 は 5 つの主題からなり、第 1 の主題は「持続的な経済成長」となっている。この「持続的な経済成長」はマラウイの貧困削減という大目標を達成するための最優先課題であり、マラウイ国民の富と雇用の創出に不可欠のものとして強調されている。鉱業セクターはこの第 1 主題の中で「成長可能セクター」として位置づけられ、その振興がとくに重要視されている。ここでは、鉱業セクターの GDP への寄与率を 10%とすることを目標としている。実際に、2009 年時点の GDP 寄与率は 2%程度であったが、2011 年には約 10%に増加した。

MGDS 2006-2011 にあげられた鉱業セクター振興戦略の主要な目標は以下のように定められている。

<大目標>

- ・地質・資源データの取得と普及の加速

<具体的目標>

- ・地質調査局の組織的能力の強化、および、それによる鉱山操業、モニタリング、環境安全水準の規制強化
- ・小、中、大規模鉱業者の環境および安全の標準への適合性の確認
- ・小規模鉱業者への市場参加および価値付加手法取得への支援
- ・中、大規模民間鉱業会社による投資の促進
- ・最新の鉱物資源情報、地形図情報の入手

この鉱業セクター振興の大目標は、中期的に、鉱業生産の増加により国内諸工業への原材料供給（輸入負荷の軽減）を図るとともに、鉱産品の輸出をも図ろうとするものである。課題としては、鉱物資源関連情報の欠如、関係公的機関の設定およびキャパシティの不十分さ、初期投資必要額の高さ、特に中規模操業を行う民間企業へ向けたインセンティブの不十分さ、基本インフラとしての電力の慢性的不足などがあげられている。このような状況の中、鉱業セクター振興のための戦略としては、地質・資源データの取得と普及を加速させることである。これは、環境保全、労働安全、密輸出の根絶などのための規制とモニタリングにも有用である。また、民間企業の鉱山開発活動が活発になるにつれて、経験を積んだ政府職員が引き抜かれ、鉱業セクターの活動全般に対して適切な管理を担うべき政府部局の人的な技術能力が低下することが懸念されている。このような人的資源の質・量両面での維持と適応拡大も大きな課題とされており、本 JICA プロジェクトの主要目標と設定されるに至っている。

MGDS は 2 期目の MGDS II 2011-2015 が策定され、2012 年 4 月に就任したバンダ大統領と議会によって承認された。MGDS II 2011-2015 は、引き続き MGDS 2006-2011

と同じ主題をもち、経済成長を促進するための手段として 9 つの優先分野からなる。鉱業は第 1 主題「持続的な経済成長」に含まれ、エネルギー、産業開発、観光と共に、2 番目の優先分野に位置付けられている。MGDS II 2011-2015 では、鉱業は以下のように記述されている。

マラウイには開発可能な豊富な鉱物資源が存在する。これらの資源はボーキサイト、重鉱物砂、モナザイト、石炭、ウラン、宝石、貴石、石灰岩、ニオブ、石材、砕石を含む。鉱業は外貨獲得を大幅に向上させ、経済成長と発展に寄与することができる。鉱業のポテンシャルを最大限に引き出すために、政府は以下の目標、期待される成果と重点戦略を追求していく。

<目標>

- ・ 鉱物資源の生産および付加価値を増大させること

<中期的に期待される成果>

- ・ 地質情報システムの更新
- ・ 探鉱活動および鉱業の増進
- ・ 中小規模鉱業者による参入の拡大
- ・ 法的、制度的枠組みの改善

<重点戦略>

- ・ マラウイの詳細な地質図の作成
- ・ 鉱業セクターにおける制度面の能力強化
- ・ 統合データ管理システムの開発
- ・ 地震モニタリングの強化
- ・ 国内および外国による投資の促進
- ・ 鉱業セクターにおける環境、労働衛生・安全の強化
- ・ 鉱物資源の持続的利用および管理に対する法律の施行

5.1.2 鉱業に関連する政府機関

近年、鉱業セクターを所管する省はめまぐるしく変遷しており、数年前のエネルギー・鉱山省 (MEM) から、天然資源・エネルギー・環境省 (MNREE)、エネルギー・鉱山省 (MEM) を経て、現在は鉱山省 (MM) となっている。「鉱山」単独の省になったことは、マラウイ政府は鉱業を非常に重要視していることに他ならない。

鉱山省にある以下の公的機関が鉱業セクターの管理と規制を担当している。

(1) 鉱山コミッショナー事務所 (Office of the Commissioner of Mines)

鉱業権局 (Mineral Rights Office) を含む。

鉱業法の施行と鉱業ライセンスの申請取扱および交付を担当する。

(2) 鉱山局 (Department of Mines)

鉱山開発、鉱山安全と労働衛生、鉱業セクターの報告・監視を担当する。

(3) 地質調査局 (Department of Geological Survey)

基本的な地質マッピングと鉱物探査を実施し、結果を公表する。

5.2 鉱業セクターの現状

現在、マラウイで生産されている鉱物資源は、ウラン精鉱、石炭、宝石類、セメント、砕石、カオリン、石灰、石灰岩などである。このうち輸出されているのは、ウラン、装飾用石材および宝石類である。大規模な鉱山は、Paladin Energy 社（豪）が開発し 2009 年に操業を開始した Kayelekera ウラン鉱山だけである。これ以外の多くの採掘は、ほとんどがスモールスケールマイニングによるものである。

近年の鉱業生産の現状を表 5.1 に示す。2010 年の鉱業生産額のうち、2010 年の輸出総額は 116 百万 US ドル、国庫収入は 1,135 千 US ドルであった。特に、2009 年操業開始の Kayelekera ウラン鉱山の寄与は大きく、生産額が飛び抜けて多く、マラウイの総輸出額の 15% 近くに及んだ。

表 5.1 鉱業生産量および生産額(2008～2010 年)

鉱種	2008 年		2009 年		2010 年	
	生産量 (t)	生産額 (千 US\$)	生産量 (t)	生産額 (千 US\$)	生産量 (t)	生産額 (千 US\$)
石炭	57,477	2,524	59,201	2,600	79,186	4,483
石灰岩（セメント用）	45,980	213	47,150	219	57,296	277
石灰（農業用）	23,495	109	25,900	120	31,790	881
ウラン精鉱	---	---	58,582	9,192	772,622	131,389
粒状粘土	7,023	246	8,050	282	1,020	38
装飾用石材	332	55	240	40	435	99
骨材	348,080	4,972	970,550	13,864	989,750	14,643
陶磁器用粘土	4,210	---	---	---	---	---
宝石類	11	46	306	1,811	207	4,329
人造大理石	10,150	74	12,355	91	4,434	136

<注：生産額は 1 US\$=140 MWK として換算>

<出典：Undi and Mtaula, 2011>

マラウイの鉱業活動としては、従来は、石炭、セメント用石灰岩、宝石・貴石類、土木建設用骨材、工業原料鉱物が主で、国内の小規模需要向けのものが大半を占めていた。しかし、2009 年に Paladin Energy 社が Kayelekera ウラン鉱山の操業を開始したことにより、マラウイの鉱業は大きな転換点を迎えた。まず、同鉱山がもたらすマラウイ政府の収入は巨額なものとなった。マラウイ政府が Paladin Energy 社の株式の 15% を保有したことによる収益のほか、鉱山で生産されたウラン精鉱の全量が輸出されるため、慢性的な外貨不足に悩むマラウイ国の外貨保有高を大きく増加させることにもなった。これらのことから、マラウイ政府は MGDS など国家の中長期的社会経済基本政策の遂行には鉱業が必須の経済セクターであると認識するようになった。

2008 年に始まった世界的な経済後退に伴ってマラウイ国内および外国企業による鉱物

探査は減速したものの徐々に回復してきている。実際に、南部アフリカ諸国では探鉱企業によるライセンスの申請数は世界的な経済回復に伴って増加しており、マラウイでは2008年に比べて2009年以降に鉱物探査活動が急増している。さらに、マラウイで初めての大規模鉱山が開発されたことの実績と2010年秋以来の世界的なレアアース需給の逼迫などを背景に、現在、マラウイにおいては外国企業による探鉱活動が非常に活発となっている。対象鉱種としては、ウラン、レアアースが主であるが、ニオブ、タンタルなどのレアメタル、およびダイヤモンドなども含まれる。第5.2にマラウイにおける主要な鉱山開発および探査プロジェクトの概要を示す。

表 5.2 主要な鉱山開発および探査プロジェクト

プロジェクト名	Region/ District	所有企業 (比率%)	鉱種	備考
Kayelekera	North / Karonga	Paladin Energy (85%), マラウイ政府 (15%)	U	2009年4月に生産開始。 2011年生産量：1,160 t (U ₃ O ₈) 資源量：14,728 t (U ₃ O ₈) 平均品位：U 0.081%
Ilombe Hill	North / Chitipa	Resource Star (90%), Nyalihanga Enterprises (10%)	U, Nb, REE	2010年：空中磁気探査, 土壌 地化学探査
Kanyika	North / Karonga	Globe Metals and Mining (100%)	Nb, Ta, Zr, U	F/S 段階にあり, 2014年に生産 開始予定
Livingstonia	North / Karonga	Resource Star (80%), Globe Metals & Mining (20%)	U	推定鉱量：7.7 Mt 平均推定品位：U 0.027%
Kangankunde	South / Balaka	Lynas Corp (100%)	REE	U, Th は低品位。2010年12月 に取得手続きがマラウイ政府に より承認。
Songwe Hill	South / Phalombe	Mkango Resources (100%)	REE	2011-2012年：試錐調査
Salambidwe	South / Chikwawa	Globe Metals & Mining (100%)	REE	2010-2011年：岩石・ピット・ オーガー調査
Mulanje	South / Mulanje	Spring Stone (100%)	REE	2011年11月に探鉱ライセンス が承認される
Machinga	South / Machinga	Globe Metals & Mining (80%), Resource Star (20%)	Nb, Ta, Zr, U, REE	2010年：試錐調査 HREE 鉱化を確認

5.2.1 操業鉱山

(1) Kayelekera 鉱山

Kayelekera 鉱山はマラウイ北部に位置し、マラウイ湖北端の Karonga から 52km 西方にある。英国中央電源開発理事会 (CEGB) は 1980 年代初期に Kayelekera の高品位ウラン鉱床を発見した。CEGB は 8 年間にわたる調査を行い、1991 年に通常の露天採掘の実現性を評価した完全な FS 調査を終えた。この調査では、計画される採鉱モデルと当時の低いウラン価格では経済性は低いと結論付けられた。1992 年には、ウラン資源に対する見通しが悪いことを主な理由として、また、CEGB の民営化および中核事業へ回帰すべきとの圧力もあり、このプロジェクトは断念された。

1998 年 2 月に Paladin Energy (Paladin) 社 (豪) は Balmain Resources 社との合弁の元で Kayelekera の権益を 80%取得した。Paladin 社は 1999 年 10 月に Balmain Resources 社から 10%の権益を取得し、2005 年 7 月に残りの 10%を取得して全権益を保有した。後に、Paladin 社は完全子会社の Paladin (Africa) Limited (PAL)を設立して、PAL が 100%の権益を所有した。2007 年 2 月に PAL とマラウイ政府の間で締結された開発合意書に基づいて、Paladin 社は 2009 年 7 月に PAL の 15%の株式をマラウイ政府に支給した。

Kayelekera 鉱床は二畳紀のカルー堆積岩類に伴われる砂岩胚胎ウラン鉱床であり、カルー系の North Rukuru 堆積岩類の Kayelekera 部層に胚胎する。鉱化作用は、頁岩とチョコレート色の泥岩で区分される 7 層の様々な酸化した粗粒アルコース砂岩に伴われる。ウラン鉱化作用は主にアルコース砂岩層内にレンズ状に産し、泥岩層には発達しない。既知の鉱化作用の最深レベルは地表下約 160m に位置する。

カットオフ 400ppm U_3O_8 での推定埋蔵鉱量は以下のとおりである。

	鉱量	U_3O_8 品位	U_3O_8 量	
確定鉱量	0.62 Mt	1,388 ppm	859 t	1.9 Mlb
推定鉱量	7.08 Mt	935 ppm	6,614 t	14.6 Mlb
貯蔵量	1.82 Mt	877 ppm	1,598 t	3.5 Mlb
合計鉱量	9.52 Mt	953 ppm	9,071 t	20.0 Mlb

2012 年の探鉱は既存鉱床の西部において深部の鉱化作用を対象として集中的に行われ、62 孔、総延長 9,554m のボーリングが掘削された。広域的な探鉱ボーリングとしては、総延長 6,656m で 37 孔が掘削された。広域的な探鉱は North Rukuru 盆地に沿って鉱山南方の Mazongoni および Nthalire 地域に拡張された。Mazongoni では準経済的なウラン鉱化作用が確認されただけであるが、Nthalire 地域では地質調査および地表放射能探査によって追加ボーリングの価値がある有望地が検知された。鉱山の約 15km 東方に位置する Mwankenja, Mlowo および Mpata 地域の偵察ボーリングでは、厚さ 10m の 2 層のアルコース砂岩中に U_3O_8 600ppm のウラン鉱化作用が確認された。

5.2.2 鉱物資源の探査活動

マラウイにおいて活発に探鉱を行っている外国企業は主に英国、オーストラリア、カナダおよび中国である。

英国の Retail Star 社は Mzimba, Kasungu および Lilongwe Valley において PGM, 卑金属, 放射性鉱物および REE を探査しており, Machinga と Liwonde 地区では放射性鉱物と卑金属を探査している。Britannia Mining 社 (英) は Blantyre 近くの Mindale 地域で鉄鉱石を探査している。

オーストラリアの Globe Metals & Mining 社 (2011 年 4 月より中国の有色金属華東地質勘査局 (ECE) が 52.8%の株式を保有) は, マラウイ北部の Livingstonia (ウラン), 中部の Kanyika (ニオブ, タンタル, ジルコン, ウラン), Machinga (レアアース), Salambidwe (レアアース) など各地で活発な探査活動を行っている。この内, Kanyika プロジェクトは, 現在は最終的 FS の段階にあり, 2014 年には操業開始の予定である。Paladin Energy 社 (豪) は Kayelekera 鉱山周辺の Chilongo, Chilumba, Mpata などの地域でウランをターゲットとした探査を活発に行なっている。Lynas Corporated 社 (豪) はマラウイ南部の Kangankunde 岩体でレアアースの探査を進めており, 開発に近いステージにあるといわれている。Oropa Exploration 社 (豪) は Mzimba と Kasungu 地区で放射性元素と卑金属を探査している。MM Mining 社 (豪) は Zomba と Kasungu 地区で卑金属と PGM を探査している。

カナダの Mkango Resources 社はマラウイ南部の Songwe 岩体でレアアースの探査を進め, ディスプロシウム (Dy), ユーロピウム (Eu), テルビウム (Tb) などの中・重希土の富化帯を捕捉しており, 現在 FS 段階にある。Gold Canyon 社 (加) は, マラウイ南部の Mulanje アルカリ岩体におけるレアアースを対象に, 探査を行っている。

中国の Beijing Zhongxing Joy Investment (ZXJOY) は Mangochi-Makanjira のマラウイ湖岸で重鉱物砂を探査している。Tengani Titanium Minerals は Tenigani でシレ川の堆積物中に含まれるチタン鉄鉱とルチルを探査している。

国内企業である Lafarge Cement Malawi と Zagaf Cement は Balaka 地区南部で石灰岩を探査している。Premier Team Work and Batolwe Mining はマラウイ北部州で石炭を探査している。Lisungwe Mineral Resources は Lilongwe 近くの Malingunde で黄鉄鉱と磁硫鉄鉱を探査している。

マラウイでは, 炭酸塩 (方解石, アンケライトなど) を主体とする特異な火成岩であるカーボナタイトが南部の Chilwa アルカリ岩石区に分布しており, これに特徴的にレアアース, ニオブ, タンタル, リン酸塩, バーミキュライトなどの有用鉱物が伴われる。また, 同様に各種の有用鉱物を伴う潜在性を持つ霞石閃長岩などのアルカリ岩体の産出も各所に知られている (Woolley, 2001)。このカーボナタイトが多産するマラウイ南部に焦点を当てた JICA/MMAJ 「資源開発協力基礎調査 (チルワールカリ地域) (1986-1989)」が実施され, 試錐調査も含めた総括的な調査の結果, いくつかの地域において有意な鉱化作用 (レアアース, アパタイトなど) が明らかにされた。

宝石, 貴石類の採掘のほとんどは零細なスモールスケールマイニングとして行われている。この従事者の社会的保護・救済は政府の基本政策のひとつでもあり, MGDS にもうたわれている。

5.3 地質と地質構造

5.3.1 地質

マラウイの地質は、先カンブリア時代から古生代前期にかけて生成した結晶片岩類（基盤複合岩体）、これらを不整合に覆い二畳紀～三畳紀に堆積したカルー（Karoo）系、ジュラ紀後期～白亜紀前期に貫入したアルカリ岩類（Chilwa アルカリ岩）、ジュラ紀後期～第三紀の堆積層および第四紀層からなる。これらの 4 つの地質区を表した地質概略図（世界銀行，2009）を図 5.1 に示す。

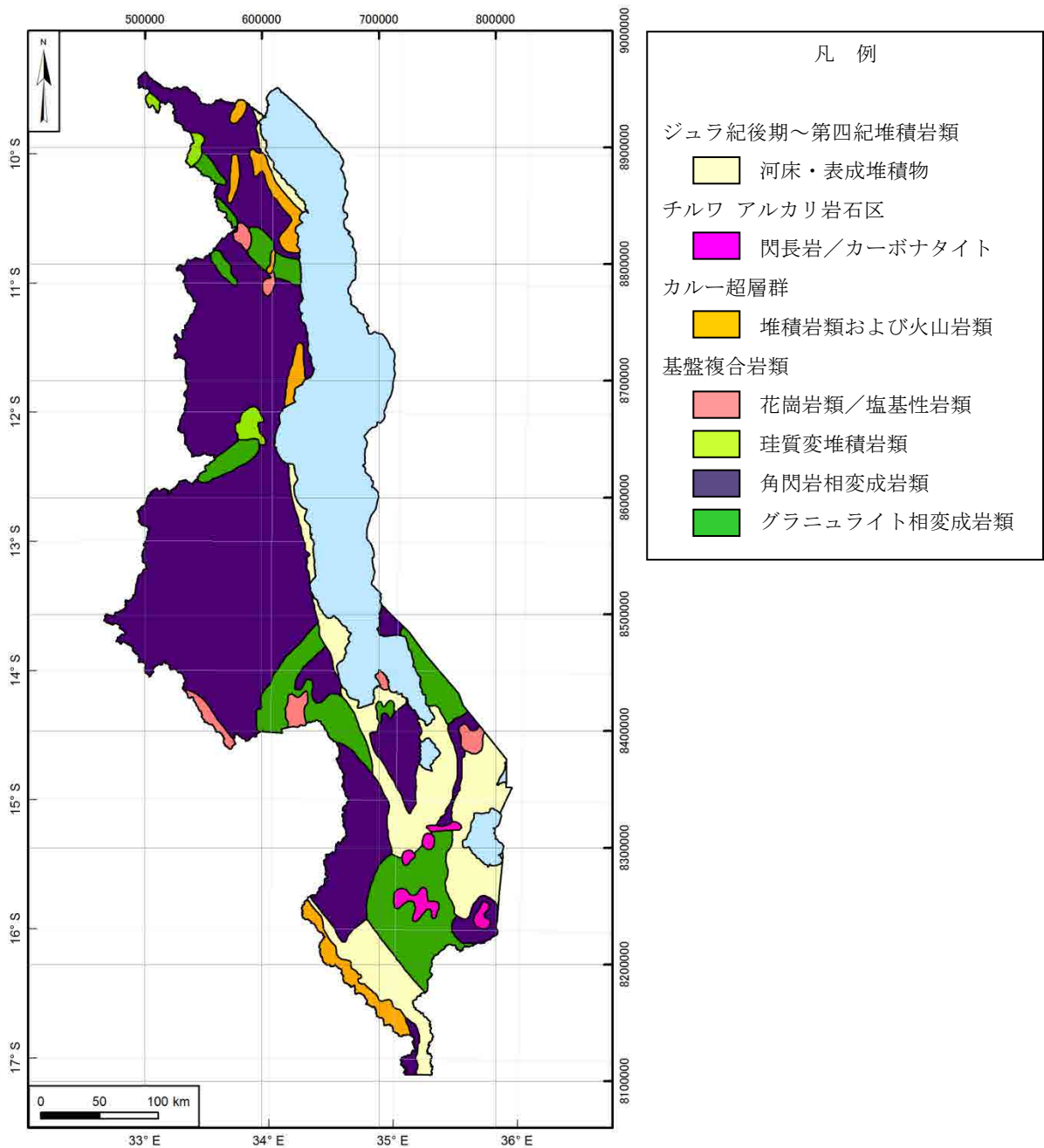


図 5.1 マラウイの概略地質図

(1) 基盤複合岩体

マラウイの大部分は基盤複合岩体とされるカルー系堆積以前の結晶片岩類からなる。基盤複合岩体は先カンブリア紀初期から古生代初期にかけて形成された様々な変成岩で構成される。

基盤複合岩類を形成した古い Ubendian 造山 (2300~1800 Ma), Irumide 造山 (1350~950 Ma) の活動はマラウイ北部と中部に限られる。代表的な岩層としては, Songwe 雲母質角閃石片麻岩, Chambo 雲母質泥質/準泥質黒雲母パラ片麻岩, Jembia River グラニュライトなどである。Ubendian 造山末期には Rumphu 火成複合岩体および Nyika 花崗岩体が貫入した。マラウイ南部と中部において基盤岩類の多くを構成するのは Muva 超層群 (1850 Ma) である。この超層群の特徴は大理石, カルクシリケイト片麻岩, 珪岩, 雲母片岩のユニットを含む角閃石-黒雲母パラ片麻岩が卓越した泥質ないし準泥質相である。北部の Mafingi 層群および南部の Mchinji 層群は 1400 Ma の第 2 サイクルの珪質, 珪碎屑性の変堆積岩である。双方の超層群は 1100 Ma の Irumide 造山により変形・変成され, 続いてカルクアルカリ花崗岩類 (1050~950 Ma) が貫入した。基盤岩類を形成した最大の造山運動は, 新原生代以降のモザンビーク造山 (パンアフリカン造山の一環) である。特にマラウイ南部にはこの造山運動に伴われるマグマ作用と高度変成作用が行なわれ, その結果, 広範囲に, 輝石グラニュライト, チャーノックイト質オーソ片麻岩, パーサイト質複合岩体, 小規模な苦鉄質~超苦鉄質貫入岩体などが分布する。

パンアフリカン造山初期の 750~710 Ma にはマラウイ中部と北部において Ilomba, Ulindi などの霞石閃緑岩の貫入があった。パンアフリカン造山の後期にはマラウイ南部において Mlindi, Little Michuru, Ntonya などのアルカリ岩の環状複合岩体が形成された。これらの新原生代リフト帯は地殻の脆弱な部分として残り, 中生代におけるアルカリ性マグマ活動の中心となった。

マラウイではこの基盤複合岩体に伴って, 宝石類 (ルビー, サファイアなど), パーミキュライト, 石灰岩, 大理石など多くの有用鉱物が産し, ニッケル, 銅, 金などの鉱徴も知られている。

(2) カルー系

南部アフリカー帯に広く分布するカルー超層群 (石炭紀~ジュラ紀) はマラウイにも分布する。カルー超層群は堆積岩類 (砂岩, 頁岩) および火山岩類からなり, ポストカルー (Post-Karoo) と呼ばれる後期白亜紀~第三紀の堆積岩類とともに基盤複合岩体を覆っている。

マラウイのカルー系は石炭紀からジュラ紀までの堆積岩類と火山岩類からなり, その多くはマラウイ北部・南部の断層群が形成した沈降ブロックにおいて削剥されずに保存されている。カルー系の層序は, 下位から, 礫岩と砂岩からなる基底層, 炭質頁岩, 石炭層からなる。マラウイ北部では, この上位に泥岩, 泥灰土, 粗粒砂岩の厚い層が堆積する。マラウイ南部のカルー系 (Chikwawa 層群) は北部と異なり, 堆積開始時期が遅く, かつ長期にわたって堆積したと考えられている。このため, 泥岩, 砂岩, 薄い石炭層がより広く分布し, その上位に粗粒砂岩, 砂岩, 頁岩の厚い層が堆積している。

三畳紀後期の堆積作用は断層沿いに生じた玄武岩火山活動と同時に始まった。ジュラ

紀には大規模な断裂が発達し、一連の玄武岩溶岩の裂罅型噴出を誘発した。マラウイ南部には、この火山活動に由来するドレライト岩脈が大規模な岩脈群として基盤複合岩体中に分布する。岩脈の走向は概ね NE-SW で、Blantyre の南方で極めて多数の平行な岩脈群が認められる。

マラウイにおけるカルー系の分布は限られるが、石炭とウランがカルー系に産出しており、重要な位置を占めている。また、マラウイではキンバライトがこれより後期に貫入するが、カルー系の分布する堆積盆地内に貫入しているという特徴がある。

(3) Chilwa アルカリ岩石区 (Alkaline Province)

アフリカ大地溝帯の南端部に位置するマラウイ南部には、カーボナタイト、閃長岩などのアルカリに富む組成の岩石が分布する。最大の貫入岩体は閃長岩および過アルカリ花崗岩からなり、より小規模の閃長岩、霞石閃長岩、ソーダライト閃長岩、カーボナタイトなどの貫入岩体を伴う。貫入時期は Gondwana 超大陸の分裂が始まった白亜紀前期 (135 ~ 113 Ma) である。これらの特徴的な岩石が分布する地区は Chilwa アルカリ岩石区と呼ばれている。これらの貫入岩の産状は特徴的であり、しばしば環状構造を呈する。

マラウイには 14 岩体のカーボナタイトが産し (Woolley, 2001)、そのすべてが国の南部に分布する。カーボナタイトにはパイロクロア、バストネサイト、モナザイト、リン酸塩、螢石、炭酸塩鉱物などが普通に伴われ、多少なりともニオブ、タンタル、レアアース、アパタイト、ストロンチウム、ジルコン、トリウムなどの有用元素のソースとしての可能性を有する。

マラウイ北部でもこれらのアルカリ岩と同時期 (中生代) の貫入活動があり、Livingstonia のカルー系にはキンバライト質角礫岩が貫入したほか、ドレライト、閃緑岩、輝岩の貫入岩も分布する。

(4) 上部ジュラ系～白亜系

上部ジュラ系～白亜系の堆積岩は、マラウイ北部と Blantyre 南西のモザンビーク国境近くに分布する。北部の地層は脆い砂岩と砂質泥灰岩、泥質岩からなる。恐竜化石は砂岩中に多く産する。これらの地層は基盤複合岩体の上に不整合に重なり、局所的にはカルー系に対しても不整合に重なっている。南部の地層は、中粒礫岩、粗粒砂岩、砂質頁岩、泥灰岩からなり、カルー系を不整合に覆う。

(5) 第三系

第三系は、マラウイ北部のマラウイ湖岸に平行して細長い帯状地域に分布する湖成堆積岩である。種々の碎屑岩であり、粗粒砂岩、砂岩、粘土、砂、砂利、石灰質泥灰土岩、シルト岩、貝殻石灰岩に分類される。これらは基盤複合岩体と中生代堆積岩とを不整合に覆う。

(6) 第四系

マラウイ湖岸、シレ溪谷、Lilongwe-Kasungu-Mzimba の平野部にかけての広大な範囲に、様々な第四紀の表層堆積物が分布する。湖成堆積物や崩壊堆積物は、マラウイ湖

岸, Malombe 湖岸, Chilwa 湖岸に沿って特に発達する。

5.3.2 地質構造

マラウイの地質構造は、地形とともに、マラウイ全体がアフリカ大地溝帯（グレートリフトバレー）の活動に大きく規制されている。

マラウイ・リフトはアフリカ大地溝帯系の西部地溝帯の南部に相当し、全長は約 800km で、タンザニア南部の Rungwe からマラウイ南部のシレ渓谷中部まで発達する。地溝構造はさらに南へ伸び、マラウイのシレ凹地、モザンビークの Urema 地溝へと至る。マラウイ・リフトは、その大半がマラウイ湖で占められ、平均標高 474m、幅 40～90km である。マラウイ湖は南へ流出し、シレ川を経てザンベジ川へ流れ込む。マラウイ・リフトは、半地溝と半地塁の境界を画定する南北走向の断層と、海拔 1,200m～2,500m に隆起したリフト方向の傾動地塊をなす階段状断層、単斜構造からなる。各々の半地溝は緩和地帯で区切られている。リフト南部のシレ渓谷では、南緯 16 度を境にリフト方向が南北から北西－南東へ変化し、その方向でモザンビークの Urema 地溝まで続く。マラウイ・リフトは概ね非火山性で、リフト沿いの各所に温泉が存在する。マラウイ湖地溝とシレ渓谷下流には、厚さ 3km を超える堆積層があると推定されている。マラウイ・リフトは地震活動地域でもある。

5.4 鉱物資源

マラウイの鉱物資源については、先カンブリア時代～古生代前期の複数回の広域造山運動により形成された基盤複合岩体に伴うものから、現世のマラウイ湖底に現在も生成されつつあるものまで、多様な鉱種が産出する。これらの資源の成因は地質と密接な関係があり、大きく以下の 4 つの鉱床グループに分けられる。マラウイの主な鉱床および鉱徴地の分布を図 5.2 に示す。

- (1) 基盤複合岩体（先カンブリア時代～古生代前期）に伴われる鉱床
- (2) カルー超層群およびポスト・カルー（二疊紀～三疊紀）に伴われる鉱床
- (3) アルカリマグマ活動に伴われる鉱床
- (4) 新生代以降の堆積物（新生代～現世）に伴われる鉱床

現在では、マラウイ・リフトに特徴的に産する白亜紀貫入のアルカリ岩やカーボナタイトに伴われるレアアースおよびニオブなどのレアメタル、および、二疊紀～三疊紀に堆積したカルー超層群の砂岩中に形成されたウランが最も注目されている。

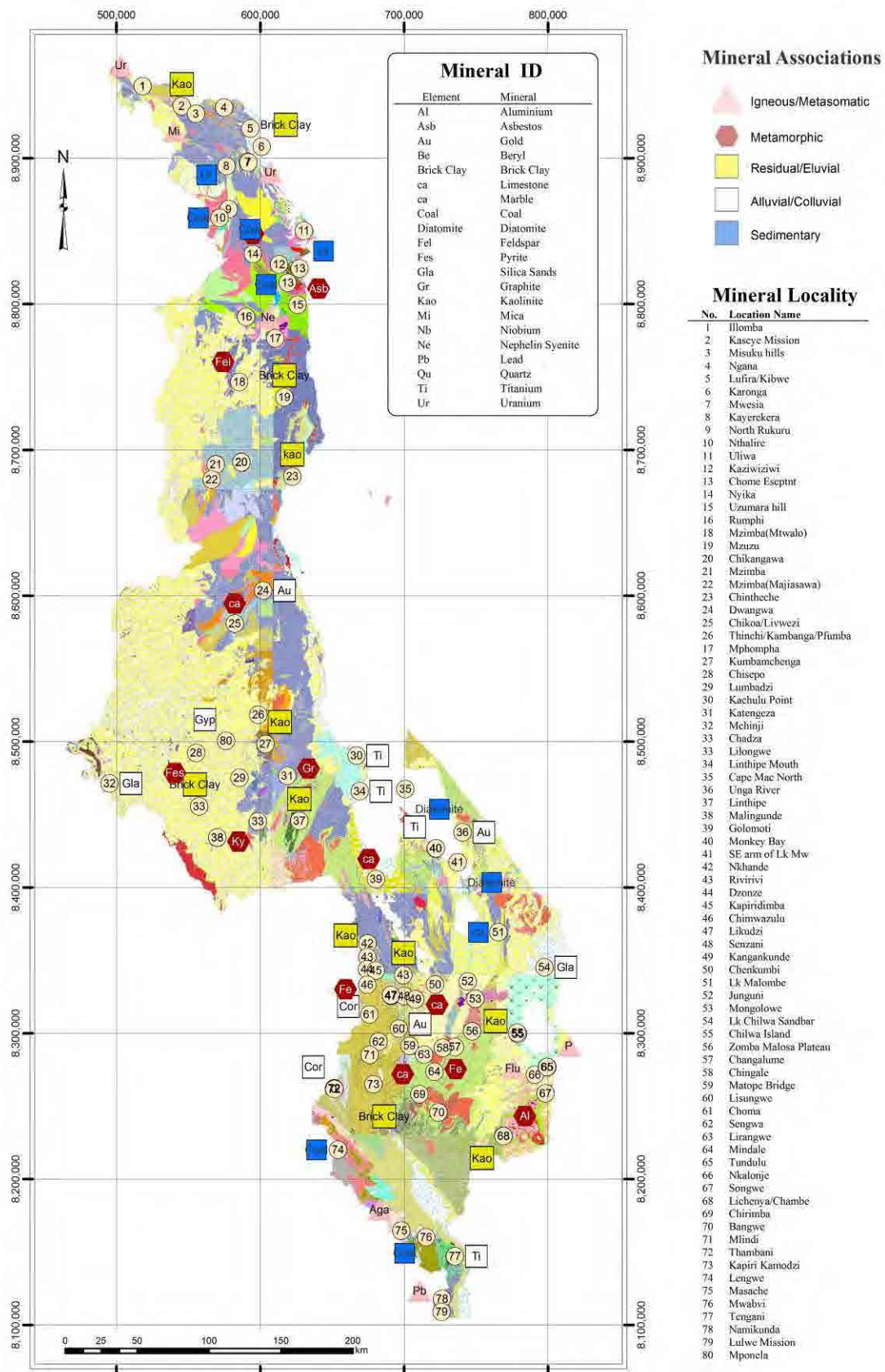


図 5.2 マラウイの鉱物資源分布図

5.4.1 基盤複合岩体に関連する鉱床

マラウイ国土の 85%を占める基盤複合岩体は、主に準片麻岩、グラニュライト、珪長質から超苦鉄質の貫入岩からなる。既知の鉱床としては、金、ニッケル、銅、黒鉛、石灰石・大理石、硫化鉄、藍晶石、宝石コランダム・ルビーの他、ペグマタイトを母岩とする貴石および半貴石が知られている。

(1) ニッケル・銅・白金族 (PGM)

主なニッケル鉱床は苦鉄質～超苦鉄質岩に伴われるマグマ性硫化物鉱床であり、これらの岩体は多様な地質環境（オフィオライト、ウラル・アラスカ型帯状超苦鉄質岩体、カーボナタイトを伴うアルカリ複合岩体など）で産出する。Ni-Cu-PGM 鉱化作用は熱水性脈および金・ウランを伴う不整合環境においても産する。しかし、最も重要な鉱床は、層状苦鉄質～超苦鉄質貫入岩中に層状鉱体として産する正マグマ性鉱床である。

ニッケル・銅鉱床を含む可能性のある苦鉄質～超苦鉄質岩体は基盤複合岩体中に 85 あることが知られている。これらは、蛇紋石化したかんらん岩、輝岩、変輝岩、黒雲母岩、かんらん石斑れい岩、斑れい岩、ノーライト、斜長岩、角閃岩からなる。これらは層状貫入岩体の一部をなす場合もある。Minex 社と GSD は幾つかの岩体を調査したが、経済的な Ni-Cu 鉱床は未だ確認されていない。

マラウイ北部、Chitipa-Karonga 地区の Ubendian Belt グループは 17 の苦鉄質～超苦鉄質岩体からなる。これらは 20 億年前の片麻岩中に変動同時に貫入している。Mzuzu グループは 4 つの輝岩岩体と 4 つのノーライト岩体を含む。輝岩岩体は変形、変成を受けておらず、Mozambique 造山より後期と考えられる。中央地域グループは、様々に分別を経た変斑れい岩、角閃岩、蛇紋岩からなる。Kirk 山脈グループは主に蛇紋岩化かんらん岩および変輝岩の岩体からなる。これらのお大半は外縁部に角閃岩を伴う。Shire 高地グループの多くはグラニュライトや角閃岩相片麻岩中に岩床として貫入した変輝岩である。

地化学探査結果では、以下の岩体がある程度のポテンシャルを示す。

- ・北部の Nandupa, Nang'ombe, Usale Hill, Kaulasisi, Kamwe, Chitumbiridi。
Nandupa の蛇紋岩では、Ni が最高 2,000ppm, Cu が最高 1,000ppm。Nang'ombe では Ni, Cu とともに最高 1,000ppm。Kaulasisi の輝岩の約 220m×100m の範囲では、Ni が 500～700ppm, Cu が 1,300～2,500ppm。
- ・中部の Chimimbe Hill, Lisandwa, Chipata Hill。
Ni が 2,000～4,000ppm (最高 9,000ppm), Cu が最高 215ppm。電磁法探査で捕捉された Lisandwa の異常域でボーリング掘削を行ったところ、地球化学的異常とは一致しないことが判明した。一方、Chipata Hill, Chamsani, Kaombe 川には、弱い Ni 異常がある。Chipata Hill では、土壌中の Ni がバックグラウンド値の 220 ppm に対して最高 1,750ppm。
- ・南部の Mpemba, Maperera, Chimwadzulu, Likudzi。
Mpemba Hill の超塩基性岩体では、土壌中の Ni が最高 6,000ppm。Likudzi の蛇紋岩体では、約 900m×200m の範囲で、Ni が 2,000ppm (最高 7,000ppm), Cu が 300～500ppm。Lisungwe PLC は走向延長 1km を超える Pd 異常 (最高 420ppb),

Pt 異常（最高 104ppb）の PGM 異常を捕捉している。Maperera と Chingozi では、Cu および Ni 異常と物理探査異常が顕著で、かつ一致している。Chimwadzulu と Chimimbe Hill には硫化物がなく、マッピングされた岩石タイプと高 Ni 値の相関関係もなく、異常は概ね浅成富化作用によるものとされている。

クロム鉄鉱と含クロム磁鉄鉱は、Chimwadzulu と Chimimbe Hill の超苦鉄質岩体に産する。Chimwadzulu では、貫入岩体の底にほぼ沿う形で線状に PGM 異常が見られる特徴がある。これは、Ni を含む初生鉱物が PGM に富むクロミタイト沈積層に関連することを示唆している。

Blantyre の南西 20km にある Mpemba Hill の有望鉱床では、MM Mining 社（75%）と Albidon 社が共同調査を実施している。この岩体は輝岩から斑れい岩までを含む一連の貫入岩からなる。これらの貫入岩では、鉱染状や塊状の硫化ニッケルが多産するほか、土壌中の Ni と Cu の地球化学的異常が 3km² を超える範囲にわたって広がっている。過去のレポートでは、貫入岩の貫入方向沿いの岩石試料で、Ni が最高 29%、PGM が最高 2.7 g/t と報告されている。

Mpemba Hill の超塩基性岩体は塩基性～酸性の輝石グラニュライトと角閃岩を伴う縞状角閃石片麻岩に含まれて産する。超塩基性岩は主にウェブステライトであり、局所的にカンラン石を含む。硫化物は黄鉄鉱と含ニッケル磁硫鉄鉱と少量の黄銅鉱からなり、貫入岩体全体を通して 0.5～1%の堆積率で完全に無秩序な斑状を呈して散在する。目視可能なニッケル-銅硫化物の最大の濃集（最高 5%）は丘陵北西部の Nseche 地区にあり、同部はフィーダーに相当することを示唆する。これは、最高 10%の磁硫鉄鉱・ペントランド鉱を伴う幅 100m の Mudi 川フィーダーゾーンに匹敵する。硫化物中の磁硫鉄鉱：ペントランド鉱：黄銅鉱の比は、概ね 79：9：12 である。この比率は、ピクライト質岩や超苦鉄質岩より斑れい岩質のマグマに由来する硫化鉱物に典型的なため、熱水鉱床より正マグマ鉱床起源と考えられる。トレンチ試料では、Ni は平均 0.2%（最高 0.32%）、Cu は 0.1%程度である。土壌と鉱化岩体中の Pt と Pd 含有量は低く、Mpemba にプラットリーフ型の白金族（PGE）鉱化作用があるという従来の説は否定された。Ni と Cu は表層で若干高くなっているが、現在地表に露出している岩石には Chimwadzulu や Chimimbe のように強いラテライト風化は見られない。Mpemba Hill の広範囲な土壌地化学異常における 18 の予察調査ボーリングによる化学分析結果では、広範囲な鉱化作用の存在が確認された。しかし、これは非常に低品位（Ni が 0.3%、Cu が 0.2%を超えることはまれで、Ni の最大は 0.64%である）に限定されている。現在の探鉱対象は Mpemba Hill を離れて北西方向に移動している。ここでは、母岩中に小板状から貫入岩様のマグマ通路に伴われて、小規模で高品位の Ni-Cu±PGM 塊状硫化物が多く産出する。

Ngala Hill の銅鉱床は Phelps Dodge が探査を行い、2007 年 12 月にライセンスが MM Mining に交付された。Ngala Hill の超苦鉄質岩体は変輝岩、輝石角閃岩、角閃岩からなり、小規模な孔雀石の鉱化を伴う。超苦鉄質岩体（2.5km×0.35km）は、北西-南東走向を有し葉片状を呈する基盤複合岩体の含輝石・角閃石片麻岩に貫入している。銅鉱徴地は延長 60m、最大幅 15m で、へき開や空隙部を充填する約 2%の孔雀石を含んでいる。土壌地化学調査から、Cu（300ppm 超）、Ni（400ppm 超）、Cr（800ppm 超）、Co

(150ppm 超) の高濃度地点が散在する。一部で Cu と Ni の異常が重複するが、Ni, Cr, Co の値がバックグラウンドに近く Cu の値が異常に高い所もある。Cu が 2,000ppm 以上の異常域が 100m×50m の範囲で、北西－南東走向方向に広がっている。この地域は鉍染状の孔雀石の分布域を含む。より大きな探査対象は Cu が 500ppm を超える地域となる。トレンチによって、64m の区間で Cu が平均 0.14%, PGM が平均 1.4 g/t および 12m の区間で Cu が平均 3 g/t, 最高 0.75%, PGM が平均 3.8 g/t が確認された。

(2) 銅

基盤複合岩体には銅鉍微地が数多くあるが、最も重要なものはマラウイ南部の Nsanje 地区にある Namikunda Hill にある。この層準規制型銅鉍化作用は、石灰－珪酸塩片麻岩の薄層中にある少量の黄銅鉍と銅藍を伴う鉍染状磁硫鉄鉍からなる。地表には、二次的な炭酸銅（孔雀石と藍銅鉍）を伴うゴッサンが発達する。厚さ 0.6～1.3m の緩傾斜の主鉍脈は、緩やかな起伏の剪断帯といわれる。ボーリング調査結果では、走向延長 33m 以上、Cu 品位 3.5%, 1,675 t の資源量が推測されている。厚さ 600m 以上に及ぶ Cu と Zn の低品位鉍化作用が報告されており、局所的に黒鉛質片麻岩に伴われる。

(3) 金

金は、マラウイ南部の Kirk 山脈から Lisungwe 溪谷にかけての地域、Dwangwa および Malandi－Makanjira 地域で以前から稼行されていた。GSD は Kirk 山脈－Lisungwe 溪谷の地域で様々な調査（1934～35 年、1958～62 年、1992～93 年）を実施している。さらに、UNDP が 1984～85 年に実施した空中磁気・放射能探査の再評価を受けて、Manondo 地区のいくつかの対象地区で詳細な地質・地化学探査が実施され、現在はボーリング調査が行われている。金は数 10cm 規模の石英－黄鉄鉍鉍脈および幅 1～2m の細脈帯に主に胚胎しており、表層土壌中にも高濃度で残留濃集している。主な採掘は 1930 年代に始まり、Breeze 鉍山、Palula 鉍山および Peterkin 脈などがある。Palula 鉍山では、斜坑が金の鉍化構造で深度 27m に達し、溝状試料採取では幅 1.2m で 0.6～11.8 g/t（平均 2.7 g/t）が得られた。地化学探査では、この鉍化帯は NE－SW 方向に延びており、1.5km 南西に位置する Breeze 鉍山と同じ系統にあることが示唆された。金鉍化作用は構造規制を受け、Manondo－Choma 衝上断層に伴われると考えられている。母岩鉍化帯を覆う表層土壌では、12～42 g/t の金の残留濃集が報告されており、可採部で平均 2.6 g/t である。金を伴う NE 走向の Manondo－Choma 衝上断層は、全長 13km で南東に傾斜している。断層の上盤には炭酸塩・珪酸塩岩と大理石を伴う泥質片麻岩が分布し、古くからの金の採掘場が伴われる。下盤には、変塩基性片麻岩と角閃岩を伴う泥質片麻岩が分布する。古い金の採掘場である Manondo と Breeze 鉍山は、この断層帯の南西端に位置する。

ERA－Maptec 社は 2000 年に衛星画像解釈に加えて、重力、空中磁気、空中放射能、電磁気法探査、地質図を総合して、金の異常および古い採掘場は、Lisungwe アナテクシス複合岩体を取り巻く延長 40km, 幅 5km の弓状の地域に位置すると報告している。この異常帯は Chongwe 片岩および複合岩体の南東側において放射線探査により同じものと解釈される岩層に関連する。ERA はこの地域の金鉍床について、以下の 4 つの成因モデ

ルを提唱している。

(i) 黒鉛質片岩に伴われる鉍染状鉍床

(ii) 中間的組成の花崗岩類に伴われ、銅を伴う熱水性脈、角礫、スカルンあるいは交代性鉍床

(iii) おそらく中生代の貫入岩類に関係する花崗閃緑岩—花崗岩に関連する鉍床

(iv) リフト断層と熱水活動に伴われる浅熱水性脈

基盤複合岩類での金探査において重要な対象は貫入岩関連金システム (IRGS) である。IRGS は広範囲の地質条件を包含し、熱水性脈、角礫、スカルンおよび交代性鉍化作用を典型とする鉍床で特徴づけられる。

IRGS 鉍床に必要な地質的特性は、以下を含む。

- ・ I-タイプの中性～珪長質貫入岩類との空間的／時間的関連性
- ・ 鉍化貫入岩類を中心とした金属または鉍化作用の累帯配列
- ・ 硫砒鉄鉍、磁硫鉄鉍および黄鉄鉍で典型づけられる低硫化物の鉍物組み合わせ
- ・ Bi, Te, W, Mo, As, Sb などの金属との関係性
- ・ 熱水変質帯の有限性

(4) 宝石、貴石類

広い範囲の宝石類と貴石類が、マラウイ南部の Nsanje, Chikwawa, Mwanza, Ntcheu 地区、北部の Kasungu, Mzimba, Rumphi, Chitipa 地区で産する。最も普通の貴石としては、アクアマリン (青ベリル)、エメラルド、アメシスト、貴石トルマリン (ピンク、緑、黄色)、煙水晶、紅水晶、サンストーン (日長石)、ヘリオドール (黄色緑柱石)、ロードライト (パイロープ)、アルマンディンガーネットなどである。カナリアイエローの電気石は 2000 年秋にマラウイで最初に発見され、高価で取引された。マラウイ南部 Ntcheu 地区南方の Kirk 山脈に分布する Chimwadzulu Hill および Likudzi の両超塩基性岩体には宝石質のルビーコランダムが産する。Likudzi においては暗赤色コランダムの小片が蛇紋岩体中の角閃岩質部分に産する。

ルビー、サファイア、工業品質コランダム (研磨用) は、典型的には塩基性岩／超塩基性岩とその変成岩に伴われ、曹長岩とアルカリ長石・雲母ペグマタイトの岩脈またはプラグの内部または隣接して産するほか、過アルカリ岩および他の珪長質母岩との境界付近に産する。基本的には、接触変成作用ないし交代作用起源の鉍床である。工業品質コランダムは通常は変成作用と同時期に生成したが、宝石品質コランダムは造構運動および変成作用の最盛期より後に形成されたものである。コランダムのポケットは片麻岩と蛇紋岩の構造的接触部に沿って分布する。Chimwadzulu Hill において超塩基性岩を切る交代作用帯にはバーミキュライトと緑泥石が生成する特徴がある。

石英—長石または花崗岩質の LCT (Li—Cs—Ta) ペグマタイトは宝石・貴石類だけでなく積層した白雲母にとって最も重要な母岩である。これらのペグマタイトは過アルミナ質で、通常、Be, Rb, Sn, Ga および B に富んでいる。

宝石を含むペグマタイト群は Mzimba 地区に産し、Kasungu 地区北部から Chikangawa を通り、ザンビア国境の Kafukula 地域に延びる。ペグマタイトは延長数 100m に達する。主に NE—SW 走向を呈する基盤複合岩類の片麻岩に対して、ペグマ

イトは斜行横断するものと調和的なものがある。宝石類はアクアマリン、アメシスト、紅水晶および多色の電気石を含む。宝石質のアクアマリン（青ベリル）は Mzimba 地区の数箇所、帯状の雲母ペグマタイト内に産出する。Mphungu ペグマタイトは母岩の珪線石黒雲母片麻岩の片理と調和する北東走向を示す。

(5) バーミキュライト

Mwanza 地区の Feremu—Garafa 地域周辺で 4.9%の含有量で 2.5 Mt の資源量が確認されている。膨潤比は 12（8～20 の範囲）で、乾燥比重は平均 125kg/m³ である。この地域の基盤複合岩体は、炭酸塩・珪酸塩岩を付随する角閃岩系列の普通角閃石±黒雲母片麻岩および超塩基性岩と閃長岩体を散点的に伴う変砂質岩を主体とする。NW 走向の Wankurumadzi 破砕帯はこの地域の支配的な構造である。この地域（130km²）には 23 のバーミキュライト鉱床が存在する。これらの鉱床は常に超塩基性岩に関連しており、閃長岩および石英—斜長石ペグマタイトとの境界に存在する暗色雲母および黒雲母または鉄金雲母からなる。バーミキュライトは強い風化あるいは地表近くの変質によって暗色の雲母が加水することで発達する。したがって、バーミキュライト鉱床が地表下の数 10m 以深に達することはまれである。最大の鉱床は面積 0.25km² の Kapirikamodzi であり、Ngolongonda と Chitimbe 鉱床は少なくとも 10m の深さに達する。

(6) 石灰岩、ドロマイト質石灰岩、大理石

石灰岩は、建設業、農業、食品、ガラス、アルミナ、製紙、製鉄、環境改善といった分野の化学、工業工程の多くに不可欠である。マラウイでの主要な利用は、ボルトランド・セメントの製造、農業用石灰および製糖である。マラウイでは基盤複合岩体に石灰石が豊富で、その多くは Blantyre から Lilongwe にかけての南部地方に産する。最も重要な低マグネシウム石灰石や方解石質大理石（MgO 3 %未満）は、セメント、アルミナおよび紙の製造と農業利用に適しており、Zomba 近くの Changanalumi, Malowa Hill, Dedza 東方, Bwanje 溪谷の Golomoti, Kasungu 地区の Chikowa と Livwezi, Balaka 地区の Chenkumbi Hill に産する。

最大の既知鉱床は Zomba の西方 13km に位置する Changanalumi で、推定資源量は 100 Mt である。Portland Cement 社が開発し、年生産量 200 Kt で 2002 年まで操業していた。大理石が全体的に低質（85% CaCO₃）で多量のズリが発生したことが、事業の経済性に影響した。Balaka の東方 10km 弱の Chenkumbi Hill には、10 Mt を超える方解石大理石とドロマイト質石灰石鉱床がある。大理石の組織や組成は様々で、方解石の含有量は 60～99%、ドロマイトは最高 40%である。鉱床の一部は純粋なドロマイト質大理石で、石灰焼成用に小規模採掘が行われてきた。1980 年代は米国の援助による操業が行われていたが、1991 年に効率の良い縦型シャフト炉を備えた Chenkumbi 石灰鉱山が設立された。現在、Lafarge Portland は Chenkumbi Hill で 7,500 万米ドル相当の新しい石灰石採掘プロジェクトに着手している。

カナダの Met Chem 社は 1997 年にマラウイ湖南端にある Bwanje 溪谷の石灰石鉱床に対して化学製品用石灰としての評価を行い、鉱量 4 Mt で、CaO 52%、MgO 0.99%、SiO₂ 5.2%を確認した。この他に、鉱量 14.85 Mt、CaO 46.8%、MgO 1.2%の鉱体が確認

され、資源量 22.4 Mt のドロマイト質大理石鉱床も同地域に存在する。Chikowa—Livwezi の石灰石・大理石は MgO 1.5%未満で 17 Mt の鉱量を有するが、珪酸塩の不純物が多い。大理石は、ガーネット・黒雲母準片麻岩、石英長石質岩石、炭酸塩・珪酸塩片麻岩を様々な比率で縞状に含んでいる。しかし、珪酸塩が 10%未満の大理石も存在する。炭酸塩 93%以上の大理石の品位は CaO 52~54%、MgO 52~54%で、炭酸塩が 75~93%のものは CaO 45.6~46%、MgO 0.7~1.5%である。

Shayona Cement 社は縦型シャフト炉を使い Livwezi 産の石灰石から日産 150 t のセメントを生産しており、2009 年末までに日産 400 t (年産 140,000 t 超) に増産する計画である。高マグネシウムのドロマイト質石灰石は 15%超の MgO を含有し、主に建設用石灰として、また亜硫酸塩製紙の工程で利用されている。純粋なドロマイト—大理石 (最大 MgO 含有率 21.7%) は、耐火煉瓦製造の重要材料である。Kirk 山脈に産する Lirangwe 大理石は 18%を超える MgO を含む高ドロマイト質であり、方解石の含有率によって 2 種類 (10%未満と 25~40%) に分けられる。地元の石灰焼成産業は長年操業してきたが、今後も小規模で継続していくのに十分な資源量はあると考えられる。同地域の Matope 大理石は、ほぼドロマイト (CaO 54.8~56.7%、MgCO₃ 41.8~42.6%) だけからなる高マグネシウム大理石で、650,000 t の資源量を有する。この大理石は、伝統的な小規模石灰焼成に多く使われてきた。

(7) 黒鉛

黒鉛るつぼ品質の薄片状黒鉛は、Lilongwe の北西方約 60km にある Salima 地区の Katengeza 村に産する。1990 年代初期に行われた FS では、平均 5.8%の炭素含有量で 2.7 Mt の資源量 (合計 157 Kt の炭素) が確認された。ここは、輸送インフラとしては良い場所である。薄片状の黒鉛の大規模な資源は Lilongwe 東方の Chimutu でも発見されている。この鉱床の詳細な評価は必要であるが、予察的な平均品位は炭素 10%である。

(8) 硫化鉄

黄鉄鉱は製紙用の二酸化硫黄と化学産業用の硫酸を生産するのに主に使われる。このような用途は世界中で減っているが、マラウイでは硫酸アンモニウムや磷酸肥料を生産する独立の硫酸工場およびニッケルラテライトの湿式製錬所で黄鉄鉱を原材料として利用することができる。

Lilongwe 地区の Malingunde Hill には、硫黄含有率 10%で 10 Mt の確定資源量があり、Dowa 地区 Chisepo 地域の Nkhanyu Hill には硫黄含有率 8%で 34 Mt の資源量がある。また、硫黄含有率 8.9%で 5.5 Mt の黄鉄鉱・磁硫鉄鉱資源量が、Chisepo 地域の Kadamsana Hill で確認されている。Malingunde Hill では、緩やかに東北東へ傾斜する、藍晶石黒鉛白雲母片岩、片麻岩および変珪岩が縞状をなす母岩に鉱染状の硫化物鉱化作用が胚胎する。露出の少ない Lilongwe—Dowa 地区には、未探鉱の大規模鉱床が存在する可能性がある。Malingunde と Chisepo の硫化鉄鉱床が南北方向の主要な構造的不連続面の近くに位置することはおそらく意味があり、さらなる調査の価値がある。これらの鉱床は緩傾斜の剪断帯に関係することが報告されている。マラウイ中部の黒鉛硫化鉄鉱床帯は広範囲にゴッサンで覆われ、重力と磁気の異常を示す。Malingunde Hill では、金、銀、

亜鉛の高い含有率が注目されている。Nkhotakota 地区の Nanzeka Hill 近くでも、鉍染状硫化物（主に磁鉄鉍で一部に黄鉄鉍）鉍体が産出する。硫化物含有率は部分的に 25%を超える。

世界で開発されている黄鉄鉍床は、通常は塊状（黄鉄鉍 90%超）か半塊状（同 40～90%）であり、工業利用のカットオフ品位は黄鉄鉍含有率 30%である。Malingunde や Chisepo のような低品位黄鉄鉍床は、普通に工業用途として考えられておらず、直接土壤に利用してアルカリ質の荒地を再肥沃化するための可能性をもつ。ニッケルラテライト鉍石の処理では硫酸が主要な原価構成要素（50%超）であり、この用途で低品位黄鉄鉍を利用することは鉍山操業の全体的な経済性を変えることになる。

5.4.2 アルカリマグマ活動に関連する鉍床

マラウイのアルカリマグマ活動は大陸内リフティングの初期に起こり、薄くなった地殻の下部でマントル上昇によりメルトが生成された。マラウイにおけるアルカリマグマ活動は大きく 3 度に及ぶ。アルカリ岩は、準長石やアルカリ輝石／角閃石を含むアルカリ成分 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) に富む岩石である。アルカリ岩の種類は珪長質から超苦鉄質まであり、カーボナタイトなど特徴的な岩石タイプを含む。アルカリマグマは重晶石、螢石、霞石閃長岩、希土類元素 (REE)、燐酸塩、ニオブ、タンタル、トリウム、ウラン、ジルコニウム等の重要な鉍床を形成する。また、銅、チタン、ストロンチウム、バーミキュライト、ラテライトニッケルのポテンシャルもある。

第 1 の活動は新原生代 (750～710 Ma) にマラウイ中部と北部で発生し、その地域は新原生代北部 Nyasa アルカリ岩区 (NNAP) と呼ばれる。同岩石区には Kasungu, Chipala, Chikangawa, Mphompha, Telelele Hill, Ilomba, Ulindi の 7 つの貫入岩体があり、現在の地溝帯 (マラウイ・リフト) に平行な南北方向に分布する。主要な岩相は霞石閃長岩であるが、Mphompha ではアルカリ閃長岩および花崗岩が認められ、Ilomba 貫入岩の内部および岩体沿いには輝岩が分布する。NNAP の貫入岩類はパンアフリカ期の 450 Ma に変成作用を受けた。

第 2 の活動はマラウイ南部において後期パンアフリカ期アルカリ環状複合体を形成し、Thambani, Bilila, Chingale, Mlindi, Little Michuru, Ntonya の岩体がある。これらの岩体は、変輝岩を中心として外縁部に閃長岩と混成岩を伴う。さらに、超塩基性岩の貫入に伴う交代作用から派生したと考えられる黒雲母岩体群が存在する。Mlindi 環状複合岩体の活動は 495 Ma (カンブリア紀後期) で、中心部から外に向けて、輝岩、はんれいノーライト～閃長はんれい岩、はんれい岩－閃緑岩、閃長岩からなる。以上の 2 度のアルカリマグマ活動にはカーボナタイトは伴わない。

第 3 の活動は白亜紀前期 (135～113 Ma) にマラウイ南部で発生し、Chilwa アルカリ岩区と呼ばれる。この地域は東アフリカ・リフトの南端に位置し、貫入岩類はカーボナタイトから花崗岩までの特異的な岩相域をもち、独特の特徴を示す。最大の貫入岩体は閃長岩と過アルカリ花崗岩からなり、閃長岩、霞石閃長岩、方ソーダ石閃長岩およびカーボナタイトからなる小さな貫入岩を伴う。交代作用を受けたベイサナイト／ネフェリナイトの火山岩は主に断層沈降ブロックに分布する。ネフェリナイト質溶岩の噴出と霞石／方ソーダ石閃長岩の貫入時期は 135 Ma、霞石閃長岩と閃長岩の貫入は 126 Ma、大規模な閃長

岩一過アルカリ花崗岩の貫入は 113 Ma である。アルカリ岩体としては Junguni, Mongolwe, Mulanje, Nthache Hill など、カーボナタイト岩体には Chilwa Island, Tundulu, Songwe, Kangankunde などがある。

(1) REE

希土類元素 (REE) はランタノイドの 15 元素にスカンジウムとイットリウムを加えた 17 元素である。REE の資源となる経済的に重要な鉱物はバストネサイトとモナザイトである。

モナザイトは Chilwa アルカリ岩石区全体に広く産出し、重鉱物砂の中に残留濃集することもある。Kangankunde 複合岩体は、モナザイト、ストロンチアナイト、鉱染状マンガン酸化物を伴うアンケライトおよび菱鉄鉱カーボナタイトのコアを、集塊岩、角礫岩、準長石片麻岩、フェン岩が同心状に取り巻いている。他の大規模なカーボナタイト岩体と異なり、ソーバイトを欠くこと、ストロンチウムに富むアンケライトカーボナタイトが豊富であることが特徴である。また、REE を含むリン酸塩鉱物が強く濃集することとパイロクロアの濃集帯がないことも特徴である。Kangankunde 複合岩体のモナザイトは Ce 含有量が高く、Th・U の含有量が非常に低いことで知られている。希土類酸化物 (REO) の平均品位が 4.24%、カットオフ 3.5% で、REO 推定埋蔵量は 107 Kt である。選鉱試験では、低コストの比重選鉱によって 60% の REO 精鉱が生産された。Tundulu 複合岩体はバストネサイトを主体とした多量の REE 鉱物を含み、燐灰石の資源量も多い。Nthache Hill 岩体では、深度 30m 当たり 2.4% REO で 3,225 Kt を超える資源量が推定される。

(2) コロンバイトータンタライト, ウラン, ジルコン

Nb-Ta-U パイロクロアとジルコンの鉱化作用は典型的には閃長岩貫入岩またはカーボナタイトに伴われる。これは初成マグマ性または交代作用鉱床である (貫入岩体内の脈、細脈帯、または貫入岩体外のフェン岩または脈)。どちらの鉱床タイプでも、残留風化作用による濃集は経済的鉱床となる。

マラウイ北西端の Ilomba アルカリ複合岩体では 1950 年代にトレンチ調査が実施され、含ウランパイロクロアにおいて U_3O_8 が最高 2.15%、 Nb_2O_5 が最高 7.50% の分析値が得られた。総資源量は Nb_2O_5 品位 0.3% で Nb_2O_5 が 0.1 Mt である。初生メルトのニオブの豊富さを反映して、チタン石とユージアル石はそれぞれ最高 11% の Nb_2O_5 と 3.5% 超の Nb_2O_5 を含有する。高いニオブ/タンタル比はカーボナタイトに典型的であり、タンザニアの Nachendzwaya カーボナタイト複合岩体が近くに存在することから、両者の貫入岩体の関連性が示唆される。

Globe Metals & Mining 社は、マラウイ中部 Kasungu の北東 55km に位置する Kanyika 多金属 (Nb, U, Ta, Zr) 鉱床のプレ FS を実施している。Kanyika 鉱床は基盤片麻岩に貫入する南北走向の霞石閃長岩中に胚胎しており、この貫入岩体は強い空中放射能異常に一致する。鉱化母岩であるアルカリ火成岩は全体的に西に 45~80 度傾斜しており、全長は 3.5km を超え、最大幅は 300m である。高品位の鉱石帯は Milenje 帯の中央部と北部で下盤と上盤に接しつつ平行して存在する。Joint Ore Reserves Committee

(JORC, 豪州の規約)に基づく推定資源量は、走向延長 2.1km 超、垂直方向の平均深度 120m で、56.4 Mt である。Nb₂O₅ のカットオフを 0.15%として、Nb₂O₅ は 0.26% (145,500 t)、U₃O₈ は 0.007% (4,000 t)、Ta₂O₅ は 0.012% (6,600 t)、ZrSiO₄ は 0.48% (272,400 t) である。現在の探鉱は Milenje 帯に集中しており、Milenje 帯の下盤側の南方延長には Chikoka 帯が存在する。鉍化貫入岩体の高品位縁辺部は幅広く西方向に傾斜しており、鉍石はその内部で局部的に、ほぼ垂直の S2 葉理に平行なパイロクロアとジルコンに富むペグマタイトの分結と脈に支配されている。これらの鉍化帯は、調和的葉理を持つ閃長岩に斜交した雁行配列を形成している。パイロクロアは卓越する鉍石鉍物で、ニオブ、タンタル、ウランの大半を含有する。パイロクロアは高品位帯全体に鉍染しており、深度 (最深 300 m) に伴い減少するような傾向は認められない。ジルコンのウラン含有量は 400~800 ppm、パイロクロアでは最高 10%に及ぶ。探査初期の 7,500m に及ぶ RC およびコアボーリングの結果では、北部 Milenje 帯の地表付近の高品位帯は、走行延長 200m 以上、幅 1,200m 以上に及び、Nb₂O₅ が 1%以上 (52,500 t) で 14.1 Mt (Nb₂O₅ のカットオフ 0.30%) の資源量が示された。2008 年最終四半期には、21m 区間で 1.03% Nb₂O₅、0.053% Ta₂O₅、0.037% U₃O₈、17m 区間で 1.403% Nb₂O₅、0.085% Ta₂O₅、0.059% U₃O₈、および、5m 区間で 2.198% Nb₂O₅、0.100% Ta₂O₅、0.078% U₃O₈ が公表された。これらの地表付近の鉍化帯は露天採掘が可能であり、操業開始後 6 年間の剥土比は 0.5~0.9 と低く、投下資本の早期回収につながる。パイロクロア精鉍とジルコン精鉍が分離生産される計画である。最初の選鉍試験では回収率は約 72%であったが、これは改善される見込みである。

基盤複合岩体中の貫入岩に関連する U-Nb-Ta 鉍化作用を探索してきた会社 (Oropa Exploration 社の Chinzani, Chitunde, Mzimba プロジェクト, Mantra Resources 社の Chikangawa, Chintcheche, Nanzeka プロジェクト) は、1984・85 年に Hunting Geology and Geophysics 社がマラウイ全土で実施した空中放射能・磁気探査データの再解析に基づいて、多くの排他的探鉱ライセンス (EPL) ブロックを設定した。この時に Kanyika プロジェクトもこれらと一緒に初めて認識された。放射能異常の多くは円形であったが、Globe 社によって開発された鉍床モデルおよび探査パラメータは、それ以外の形状や貫入岩体形状も有望であることを示している。

鉍化作用を伴う一部のカーボナタイトは副産物として抽出可能な大量のパイロクロアを含む。パイロクロアに富む Chilwa Island のカーボナタイトは 0.95% Nb₂O₅ で 375 Kt の埋蔵量を持ち、Tundulu カーボナタイトは 0.37% Nb₂O₅ で 900 Kt をもつ。

(3) 磷酸塩 (磷灰石)

マラウイ南部にある Tundulu, Chilwa Island, Kangankunde のすべてのカーボナタイト複合岩体には磷灰石の形で岩石質の磷酸塩が濃集する。このうち、Mulanje 地区の Tundulu の磷灰石だけが、肥料原料としての経済的ポテンシャルを有する。

Tundulu 複合岩体は標高 967m で Phalombe 平野に急峻に立ち上がり、3 つの火成活動からなる。第 1 の活動中心は、直径約 2km の閃長岩プラグを囲むフェン岩化の環状接触変成域である。第 2 の活動は Nthache Hill を中心とする直径 500~600m の環状カーボナタイトである。第 3 の貫入活動の前に、横ずれレンチ断層によって Nthache Hill 環

状構造の西半分が北へ 250m ずれた。第 3 の活動は、変霞岩とペフォルサイトの小規模プラグと薄い岩床からなる。主な磷灰石鉱床は、丘陵東側を取り巻く弧状帯（南北 300m, 東西 50m）を形成する。

ボーリング調査で推定される資源量は、深度 100m までの範囲にて、 P_2O_5 17%で 2 Mt である。このブロック内に P_2O_5 平均 22%で 900 Kt の部分があり、より高品位（28～30% P_2O_5 ）の部分が選択的に採掘可能である。集塊岩で覆われる隣接地域の調査によって、資源量は増加する可能性がある。Met-Chem Canada 社は Malawi Development Corporation に対して Tundulu 磷酸塩鉱床の経済性の評価を行った。カーボナタイトから Nb と REE を回収することで、 P_2O_5 のカットオフ品位を下げることができ、磷酸塩の資源量を増加することになると報告された。しかしながら、新たに肥料生産プラントを建設するには、磷酸塩岩の資源量と磷酸塩肥料の需要は少なすぎると判断される。Tundulu 磷酸塩岩の表層部を茶栽培の肥料として直接利用する農業試験が行われたが、生産量を十分に増収できなかった。

JICA（1989～91）は Nthache Hill の 3 つの鉱体に対して、 P_2O_5 のカットオフ品位 5%として、 P_2O_5 平均 14.4%で 1,892,480 t の推定鉱量を報告した。また、 P_2O_5 16.6%では 1,777,688 t、 P_2O_5 22.8%の高品位帯では 805,200 t とされた。ボーリング調査では、磷灰石岩体は深度 100m 以上まで連続する。経済的価値のある磷酸塩岩は通常 60%以上の $Ca_3P_2O_8$ を含むが、Tundulu 磷酸塩鉱床は 50%以下とかなり低い。Tundulu 鉱床において商品を生産するためには、破碎や浮遊選鉱を含めた採掘を必要とする。しかし、高品位鉱石を直接利用する場合は、精錬処理を必要としない。

基盤複合岩体の Mlindi 過カリウム質環状構造の中心にある黒雲母変輝岩中に磷灰石が産する。これは、磷酸塩抽出のポテンシャルを有する唯一の輝岩である。開発可能な鉱床（7～14% P_2O_5 で 2.4 Mt）の多くは、変輝岩を覆う残留土壌中に産する。

(4) ペグマタイト鉱物

Zomba 近くの Malosa Mountain では鉱物収集家から高い評価を受ける優秀なペグマタイト鉱物標本を現地職人が生産している。もっとも有名な鉱物は、エジリン輝石、微斜長石、ジルコンおよび希少鉱物の Parasite, Epididymite, Fergusonite, Eudialyte である。113 Ma（前期白亜紀）に貫入した Zomba-Malosa 貫入岩体は石英閃長岩からなる。過アルカリ花崗岩は NYF (Nb-Y-F) 花崗岩質アルカリ質ペグマタイトを伴う。このペグマタイトはエジリン輝石, Arfvedsonite, Ce パイロクロア, ホタル石, Hingganite, Nb-Ta-Y 酸化物, Niobophyllite-Astrophyllite, REE 炭酸塩, Na-Be-Zr 珪酸塩, ゼノタイム, ジルコンなどを産し、独特な鉱物組成を示す。このペグマタイトは Malosa 山の頂上（標高約 2,000m）付近に露出し、典型的には幅 1.0～1.5m, ほぼ水平で、非常に晶洞に富んでおり、局所的にはメートル規模の晶洞またはポケットを伴う。このような岩石組織および鉱物組成は地下浅所での結晶化を示している。さらに、Be 珪酸塩のような希少鉱物の大きな自形結晶が晶洞中に産する。これは REE 鉱物や Zr-Th 珪酸塩による交代作用を示す。これまでに、方鉛鉱を含む約 45 種の鉱物種が同定されている。

Chinduzi-Chikala 山脈にある霞石閃長岩ペグマタイトも、大きく発達したエジリン輝石の結晶を産する。Mulanje 山塊は NYF クラスの希金属ペグマタイトにおいても有望

である。Mwanza においては、曹長石および曹長石-曹灰長石を伴う Na 質ペグマタイト岩に 4 cm 大の褐色半不透明のジルコンの双角錐結晶が産する。Nsanje の Makoko 村の西方と南方で黒雲母霞石片麻岩中に伴われるペグマタイト中にコランダムが産する。同様の産状は Mwanza 地区の Thambani でも見られる。一部のコランダムは青色を呈するが、宝石質のサファイアは報告されていない。

(5) 石材

群青色の方ソーダ石閃長岩はアルカリ貫入岩複合岩体に伴う装飾用石材の中で最も需要の多いもののひとつである。マラウイ北部、Chitipa 地区の Ilomba 貫入岩体の方ソーダ石-霞石閃長岩は Blantyre の Ilomba Granite 社により採掘されており、「Blue Granite」というトレードマークで知られている。この閃長岩は、黒雲母霞石閃長岩中の漸移的境界に相当する限られた部分に産する。粗粒部分は主にアルカリ長石と方ソーダ石からなる。このほかに、少量の黒雲母、アパタイト、斜長石、方解石が存在する。Songwe 閃長岩体内において、Ilomba の 6.5km 東にある Ulindi Hill 霞石閃長岩貫入岩体でも、不規則で不連続な方ソーダ石脈が山頂部に産する。「Blue Granite」は Rumphu 地区にも産する。

Balaka 地区における白亜紀 Chilwa アルカリ岩区の Junguni Hill にも方ソーダ石閃長岩が産する。この岩体は Nacala 鉄道および人口集中地に近く位置する。方ソーダ石は局部的に 90%以上を占め、しばしば球状の塊、粒間状のパッチ、長石の柱状結晶内の長方形結晶として産する。

アマゾナイト花崗岩は「Green Granite」として知られ、マラウイ中部、Mzimba 地区の Ezondweni-Mtwalo 地域に産し、Granite 社によって稼行されている。アマゾナイトは青緑色を呈する不透明から半透明の微斜長石で、アルカリ花崗岩およびペグマタイトに産する。緑色は主に鉛が含まれることによる。アマゾナイトの大きな結晶は Zomba 付近の Malosa 山のペグマタイトに産する。

(6) キンバライト

キンバライトはカリウム質火山岩のひとつであり、ダイヤモンドを含むことがあるため、ダイヤモンドの主要な母岩としてよく知られている。キンバライトの形状は深度 150~450km のマントルを起源とする爆発的なダイアトリーム火山活動により形成された。ダイヤモンドは典型的には始生代/古原生代のクラトンの深部に産し、そこから上昇するキンバライトマグマに取り込まれたものである。ダイヤモンドを含むキンバライトは地下深部で板状のほぼ垂直な供給脈を形成する。超高压下のキンバライトマグマが上方に急速に移動し、地表に達して噴出することで、地表下 1.5~2.0km に及ぶパイプと称される中央噴火孔を有する火山が形成される。地表部でのパイプの直径は通常、数 100m~1km であるが、例外的に数 km になることもある。ダイヤモンドの経済的なポテンシャルを有するキンバライトは 200 個に 1 ほどしかない。

アフリカ大地溝帯の西側リフトにはグループ II のキンバライトが産する。これは極めてカリウムに富む過アルカリ岩で、揮発性成分に富み、ランプロファイアに類似する。アルカリ性マグマは大陸リフト下部のマントルプルーム中の深部に起源を持ち、一般に霞岩

ーカーボナタイト系およびカーボナタイトーキンバライト系の岩石の起源となる。Mangochi の Phirilongwe 山地付近の Chapachenga 地域に産するキンバライト質岩石はカーボナタイトに類似する。GSD はこれらを調査している。

東アフリカ大地溝帯の周辺に産するキンバライトがダイヤモンドを含まないことを理由に、マラウイーモザンビーク地域のキンバライトにもダイヤモンドは含まれないとする考えが一般的である。しかし、これら不毛キンバライトのうちの約 50%には何がしかのダイヤモンドが含まれると報告されている。マラウイのほとんどとマラウイに接するモザンビーク西部の多くの部分は再変動を受けた結晶質地殻で構成されるが、最近の研究では、より古期のクラトンの断片が含まれている。モザンビーク北西部のキンバライトは、ナミビア南部から延び、NE-SW 方向に走る大陸間ダイヤモンド回廊の北東端に産する。マラウイ湖の北東に広がる Maniamba 地溝はカルー超層群の堆積物で埋められており、白亜紀前期 (約 140 Ma) に貫入した初源的なグループ I のキンバライトの岩脈 (幅 3m) やパイプ (径数 10m) が多数存在する。このモザンビーク側の地溝では、NE 走向と NNW 走向の断層系の交差部にダイアトリームが産する。キンバライト岩体はカルー超層群の被覆の外側には発見されていない。Mefululutxe と Fugoe の NW 走向のキンバライト帯は延長 28km に及び、マラウイ湖から 4~7km しか離れていない。これらがダイヤモンドを産するかどうかは証明されていないが、不毛のグループ I のキンバライト岩脈がダイヤモンドを含むパイプを伴うことは普通にありえる。

キンバライト岩脈は Livingstonia 準盆地のカルー堆積岩類中に産することが知られている。1980 年代の UNDP による空中地球物理探査は、マラウイ北部の Karonga 地区の Chiumba ダイアトリーム帯西部においてダイヤモンド含有キンバライトを対象とした。が産することを示している。このため、Maniambe 地溝を画する Chamaliro 転位帯および Ruhuru 地溝と Livingstonia 準盆地の南縁を画する Chamaliro 転位帯の北側支脈はキンバライトの有望な地域と考えられる。キンバライト岩脈は Chikwawa および Mwanza 地区の Mwanza 川溪谷でも報告されている。これまでのダイヤモンド探査によると、Shire 川で選別採取された試料からキンバライトの存在を示す鉱物と 2 個の微小ダイヤモンドが報告されている。

(7) ベースメタル

環状複合岩体の中では、Mlindi と Chingale でのみ、十分な試料採取が行われている。Mlindi では、不規則分布の Cu-Ni 異常 (最大 Cu 340ppm, Ni 680ppm) と Cu 鉱物が認められている。黒雲母岩上の土壌では、独立分布の Cu-Ni 異常 (最大 Cu 2,560ppm, Ni 1,600ppm) が認められている。Kangankunde カーボナタイトでは、モナザイト、ストロンシアナイトに伴い副次的な閃亜鉛鉱、重晶石、マンガン酸化物が産する。モナザイト採掘にともなう副産物として、深度 30m までの資源量は、閃亜鉛鉱が 0.4~0.5% で 1,654 t、重晶石が 0.6~0.7% で 9,250 t である。Phirilongwe (Mangoche), Nkalabe (Nyika), Mbale (Nsanje), Chekang'ombe (Nkamanga) のアルカリ貫入岩体では、数多くの Sn-Mo-Nb 地化学異常が存在する。Chilwa アルカリ岩区の後期の A タイプ過アルカリ花崗岩類および閃長岩にはスズ鉱化作用のポテンシャルがある。

5.4.3 カルー超層群およびポストカルーに伴われる鉱床

マラウイでは、二疊紀、石炭紀から下部ジュラ紀のカルー超層群の堆積岩類と火山岩類、および、白亜紀後期～第三紀のポストカルーの堆積岩類が、先カンブリア紀前期～古生代前期の基盤複合岩類を覆っている。カルー超層群は基盤複合岩類とともに中生代のアルカリ火成岩類に切られている。カルーおよびポストカルーの堆積岩類、火山岩類に伴われる鉱床のタイプは、堆積同時から続成作用同時、さらに続成作用後期までの範囲であり、典型的には堆積岩胚胎層状鉱床（ウラン、石炭、石灰岩）を含む。Stormberg 火山岩類は宝石品質の青メノウと玉髓を産する。また、カルー超層群は炭化水素の有意なポテンシャルを有する。

(1) ウラン, Kayelekera

Kayelekera 砂岩胚胎ウラン鉱床は、首都 Lilongwe の北方 575km、マラウイ湖北端にある Karonga の西方 52km に位置し、North Rukuru 盆地を埋める二疊紀カルー堆積岩類中に賦存する。この鉱床は 1982～1992 年の間に、英国中央電源開発理事会（CEGB）によって発見され、評価された。1998 年に Paladin Energy 社（豪）は Balmain Resources 社と合弁で権益を取得し、2005 年には Balmain 社保有の残り 10%を取得した。Paladin Energy 社は、現地の完全子会社である Paladin (Africa) Ltd (PAL) を通じて Kayelekera プロジェクトの 100%権益を保有した。ただし、PAL 社とマラウイ政府が 2007 年 2 月に取り交わした開発合意書に従い、PAL 社株式の 15%をマラウイ政府に移譲することとなっている。環境関連の承認を受け、2007 年 4 月には面積 5,550 ヘクタールで 15 年間有効の鉱業ライセンス ML152 が承認された。2007 年 6 月には、2 億米ドルの開発プロジェクトの建設工事が始まった。

このプロジェクトでは、砂岩と関連鉱石に対して破砕、酸浸出、抽出、濃集、乾燥等の処理を年間で 150Mt 行い、1,500t の U_3O_8 を生産する計画である。一方、Paladin 社は Kayelekera 鉱床の東方、西方、南方の隣接ブロックにおいて、排他的探査権（EPL 168, 169, 170 および EPL 225 を 2005 年 12 月と 2007 年 12 月に取得して探査を行なっている。これは、既存の空中放射能探査による異常帯を追跡して、保有資源量と鉱山寿命を増加することを目的とする。

North Rukuru 盆地では 1,500m を超える厚さの碎屑性堆積物が準盆地に保存されている。この地層は 2 つの明らかに異なる地層に区分される。ひとつは上位となる、珪藻質岩からなる氷河－湖成の基底累層である。他方は、5 層に区分される North Rukuru 砂岩・頁岩累層のアルコース砂岩と泥岩の厚い互層である。Kayelekera ウラン鉱床は North Rukuru 累層最上部の Kayelekera 部層（最大層厚約 150m）中に発達する。この部層は計 8 層のアルコース砂岩層と、それにほぼ 1:1 比で介在する泥岩層からなる。Kayelekera 部層の基底は暗灰色と暗褐色の泥岩であり、Muswanga 赤色岩部層を覆う。Kayelekera 部層の地層群は、幅広く浅い、間歇的に沈降を続ける盆地内の循環性の堆積作用を表す。それぞれの堆積サイクルは、一般に、粗粒で還元相のアルコースから上方へ向かい、酸化相の「赤色泥岩」を通り、薄い石炭層を挟む還元相の石灰質シルト質泥岩に移行する。いくつかの上方細粒化層を含む個々のアルコース単層は、普通に水流で堆積し

たもので、黄鉄鉱鉱染を伴う炭質の岩屑を含む。

ウラン鉱化作用のレンズは深度 100m までのアルコース単層中に産する。これらの垂直方向に重なったレンズは、断層に画された構造の向斜軸にほぼ平行に分布する。鉱化作用はオフセットしているが、母岩岩層を切る地表地形により限定されるものの、断層によって限定されていない。多少の二次鉱化作用が鉱化アルコースの下位の泥岩中にも認められるが、鉱化作用の多くはアルコース単層中の 6 つのレンズに賦存する。母岩岩層の酸化還元状況に基づくと、3 つのタイプの鉱化作用が認められる。すなわち、(i) 還元型、(ii) 酸化型、(iii) 酸化還元混合型、である。還元相ではコフィン石が主要ウラン鉱物で、しばしば有機質岩屑と黄鉄鉱に伴われる。漸移帯では閃ウラン鉱および U-Ti 鉱物が含まれ、酸化相では幾つかの黄緑色二次ウラン鉱物（メタ燐灰ウラン鉱とボルトウッド石が卓越）が含まれる。

JORC コードによると、カットオフを U_3O_8 300ppm とした場合、精測および概測資源量の合計は 15.3Mt@0.088% U_3O_8 、 U_3O_8 量は 13.63Kt である。さらに、予測資源量は、3.40Mt@0.06% U_3O_8 、 U_3O_8 量は 2.04Kt である。露天採掘は 2008 年 6 月に始まり、初期の貯蔵が得られた。この従来型の露天採掘は寿命 7 年とされるが、処理作業はさらに 4 年間続くとされる。すなわち、最初の 7 年間では定常的に年間 150Mt を採掘して、 U_3O_8 を 1,493t 生産し、その後の 4 年間では貯蔵された周辺の低品位鉱 (U_3O_8 0.039%) から年間 530t の U_3O_8 を生産する計画となっている。

Kayelekera は典型的なロールフロント型ウラン鉱床で、ウランに富む酸化地下水が多孔質なアルコース砂岩中を下向きの勾配で移動したことにより形成されたものである。この地下水が酸化/還元境界面に遭遇した際に、溶解するモリブデン、バナジウム、セレン、ヒ素とともにウランが沈殿して、しばしば三日月型の鉱床が形成された。ウランは酸化状態では移動しやすいため、鉱床の酸化部分からは溶脱される傾向がある。還元フロントは時間と共に地下水の流れの方向に移動する。鉱染状黄鉄鉱と有機物質は還元剤として働き、砂岩中の有機物ポケットはフミン酸に富むタイプの鉱体として追加される。さらに、板状で外殻状の鉱体がフロントの三日月の縁辺部に形成される。幾つかの鉱床は露天採掘または坑道採掘で採掘されるが、多くの鉱床は将来的に原位置抽出法で採掘される。

通常、これらの鉱床は放射能検知器で発見される。ただし、バックグラウンドとピークの比は小さく、容易に見逃される可能性がある。Kayelekera の放射能異常は例外的にバックグラウンドの 5 倍もあった。ウランと崩壊連鎖の娘核種との間に長期的な非平衡が存在する場合は、複雑さが生じる。閃ウラン鉱とコフィン石が新しく生成すると、放射性娘核種がこれからも生成することになる。このような非放射性鉱床は地球化学的手法でなければ発見されない。

Karoo 盆地内のロールフロント型ウランの濃集が経済的レベルに達することが認識されたことによって、特に同タイプの鉱化作用を対象とした探査活動が活発となっている。Globe Metals and Mining 社は、Livingstonia 準盆地の東縁の急傾斜部における放射能異常に基づいて、同盆地の Karoo 砂岩内のウラン鉱床を探査している。この地域の Chombe, Chiweta, Bunga における第 1 期の試錐は 2008 年に終了した。Chombe は最も探査が進んでおり、最も有望である。試錐により、15m 区間で U_3O_8 402ppm、10.6m 区間で U_3O_8 373ppm、8.1m 区間で U_3O_8 644ppm が得られている。このウラン鉱床はロ

ールフロント型であるが、Kayelekera よりははるかに複雑である。初生のウラン濃集は、曲がりくねって流れる氾濫原環境における多数の流路充填物に伴われて認められる。二次的な再移動は、より早期に形成された鉱床フロントに重複して、多数の相として生じている。有機物レンズに伴われた二次ウランの鉱化も認められる。Livingstonia はマラウイ・リフト縁辺部に非常に近いので、断層活動がウラン鉱化作用の位置決定に大きな役割を果たしている。ただし、鉱床層準の変動量が数メートルを超えることはまれである。したがって、全体的な配置は Kayelekera のように一つの単純な開いた向斜とは異なる。主要な鉱化層準は厚さが最大 90m の基底のアルコース単層であり、直接石炭層にのっている。このアルコース砂岩は、幾つかの薄いシルト質夾在層を除くと、一般に整合的で均質である。リフトの断崖に近いことや、他の環境的な考察により、露天採掘は採用されず、地表に与える影響が比較的小さい原位置抽出法が採用されるであろう。天然の地下水面は深度約 40m にあるが、季節により若干変化する。

ロールフロント型ウラン鉱床において原位置抽出法が採用されるためには、含ウラン砂岩は多孔質で浸透性があり、かつ、不透水性の泥岩や頁岩で上下を封じ込められている必要がある。砂岩層は水平か緩く傾斜し、かつ、地下水面の下位に位置するか、封じ込められた帯水層中に位置する必要がある。原位置抽出法は、露天採掘を行うには地表から深すぎるロールフロント型鉱床からウランを経済的に回収することを可能にする。

(2) 石炭

石炭はマラウイでは重要だが十分に活用されていないエネルギー源である。干ばつに影響される水力発電などの再生可能エネルギー源に比べて、石炭はより信頼性の高いエネルギーであり、環境保全と人口増加の圧力が増す薪や木炭に代わる燃料になりえる。限られた資源量の小規模な石炭盆地は、大量輸送のコスト高を考慮すると、地域経済的・戦略的価値を有する。現在、マラウイ産の石炭は、蒸気発生、セメント製造、タバコの火力乾燥、薬品製造に利用されている。

利用できる推定値によると、マラウイ北部に 13 箇所、南部に 2 箇所の炭田があり、推計資源量は合計 800 Mt である。最もよく知られた炭田は Ngana, Livingstonia, Lufira, Mwabvi, Lengwe, North Rukuru, Nthalire の各盆地に産する。マラウイの石炭は亜瀝青炭ないし瀝青炭で、灰分含有量が高く、高揮発、低硫黄である。また、イナーチナイトやビトリナイトおよび鉱物質に富み、二種類および三種類のマセラルで構成されており、ゴンドワナ系石炭の典型である。これまでに確認されている石炭鉱床のほとんどは、厚さ 1m 未満であり、垂直変化や水平変化が激しい。アルコース砂岩に関連する石炭は、泥岩に伴われるものに比べて良質で均質なようである。これらの鉱床は短中期的に見て、経済的な探鉱の面で最も高いポテンシャルをもっている。

石炭層の厚さはマラウイ北部地域では約 100m 以下、南部では約 600m 以下と異なる。これらは礫岩混じりのアルコース砂岩と泥岩の互層からなる。粘土質層は複数の薄い石炭層を含む。砂岩に胚胎する石炭は一般的ではないが、現在開発中の Livingstonia 盆地では卓越している。北部の盆地は全体に東へ傾斜し、東側の境界は西側が沈降する断層となる半地溝である。マラウイ湖に最も近い盆地のみにおいて、この構造は反転し、地形はより新しいリフトバレーの地質構造に調和する。マラウイ湖北岸の第三紀から現世の堆積層

の下位に、相当な厚さのカルー系から白亜紀の鉱床が存在する。

Nyika 山塊の南西側にある Livingstonia 盆地は、マラウイ湖リフトによって切られたタンザニアの Ruhuru 盆地の南西延長にあたる。Livingstonia 盆地の堆積物は、North Nyika に比べて、より深い湖成環境で堆積したものである。盆地の北西側は断層で境され、全体的な形態は左横ずれ変位のプルアパート盆地起源と一致する。

現在操業している唯一の主要な炭鉱は Mchenga Coal Mines で、Livingstonia 炭田に位置し、Rumphi 地区の 90 km² 以上に広がる。Mchenga 炭鉱は月生産量 5,000 t を目標とし、国内の有力企業に石炭を供給する他、タンザニアの Mbeya Cement にも月 1,000 t を供給している。同社は Chombe 炭鉱も操業しており、合計した年生産量は 96,000t に近い。Mchenga 炭鉱の確定資源量は 1.4 Mt である。厚さ 1.5~2.7m 程度の暗色と明色の互層を呈する重要な石炭層が K3 層基底アルコースの直下に産し、水平方向の広がりもかなりある。現在、この石炭層が採掘されている。炭層と上盤アルコースの境界面は明瞭であり、一般にほぼ水平でかなり平面的である。下盤には炭質雲母質砂岩があり、上位の炭層底部に向かい細粒化する。厚さ 0.5m 以下の薄い炭層は主要炭層の上に産し、類似した上盤と下盤を持つ。Kaziwiziwi には Kaziwiziwi Mining Company が操業する別の小規模な炭鉱がある。採掘された Kaziwiziwi の主要炭層は砂岩に胚胎し、厚さ 1.5~2.0m で、最良質の石炭は上部 0.75 m に産出する。

Ngana 炭田はタンザニアの Songwe-Kiwiri 盆地の南方延長にあたる。同炭田は面積 60km² に及び、露天掘りのポテンシャルを評価されている。炭層は厚さ 15m 程度で、東へ 30° 傾斜している。深度 200m 以内に賦存する石炭の推定量は 50 Mt である。炭鉱の剥土比は 10 : 1 以上と予測されている。ボーリング調査結果では、回収率 65% で資源量 18.2 Mt である。しかし、不純物の高含有量が記録されており、高灰分・低発熱量の石炭であることから、販売可能な製品にするには追加の洗浄が必要である。

North Rukuru 炭田は面積 190km² に及び、炭層の厚さは 0.5~3.0m である。Musisi 森林にある Kachira 鉱床の資源量は 165 Mt、確定資源量は 500 Kt である。露天または坑道による採掘が可能であり、剥土比は 15 : 1 以上である。

Lufira 炭田は面積 6km²、推定資源量は 1.25 Mt である。石炭を含む地層は東へ 16~25° 傾斜し、厚さ 20m で、厚さ 4mm から 2.45m の 4~12 枚の炭層を含む。ボーリング調査結果では、資源量は 600 Kt である。同炭田の近くにある Kibwe 炭田は面積 15km²、推定資源量 2 Mt である。Lufira 盆地と Kibwe 盆地は、資源量 300 Mt が推測される Karonga 潜在炭田の一部をなす。

Chikwawa と Nsanje 地区のシレ溪谷南部に位置する Lengwe 炭田と Mwabvi 炭田では、1987 年から 1991 年にかけて BRGM と GSD が詳細な調査を実施した。Mwabvi 炭田は 400km² 以上に及び、炭層は所々で地表に露出している。BRGM と GSD のボーリング調査で、深度 50 m までで 2.2 Mt、深度 100m までにさらに 2.5 Mt の石炭資源量が推定された。石炭の質は深度が深いほど良質になり、浅所の石炭は洗浄が必要である。Mwabvi では露天または坑道での採掘になる。Lengwe 炭田はほぼ 350km² に及ぶ。Mkombezi wa Fodya 川の周辺 30km² の範囲で 16 孔のボーリングが実施された。ここの石炭は泥岩中に産し、Mwabvi の石炭に比べて炭化度が低い。Lengwe と Mwabvi の両地域においては、石炭層が浅所にあり開発が容易であるならば、激しい断層活動により有望

鉱床ブロックの規模が制限されることは探鉱の妨げとならない。これらの地域は国内の主要市場に最も近い有望地域であり、この要因だけでも明らかに有利である。

5.4.4 風化残留、漂砂およびリフト関連の堆積作用による鉱床

表層堆積物（残留層－溶脱層，崩積層，沖積層－湖成層）はマラウイで重要な鉱物資源を含む。これらは、マラウイ湖沿岸，シレ溪谷，Lilongwe－Kasungu 平原および Muzimba 平原を広範囲に覆っている。様々な気候条件下での風化，浸食，堆積の複雑な地形進化サイクルの結果として，新生代に残留鉱床や漂砂鉱床が発達した。残留鉱床は，ボーキサイト，粘土，サプロライト質ニッケルおよび貴石を含む。湿地帯には，石膏，煉瓦用粘土，珪砂のポテンシャルがある。イルメナイト，ルチル，モナザイト，ジルコン，金，貴石を含む重鉱物沖積漂砂鉱床は，主に東アフリカ地溝帯の大河川沿いや湖周辺に発達する。これらの地域には，コロンバイト－タンタライト，錫石，PGM などのポテンシャルもある。マラウイ・リフトの湖成鉱床は，珪藻土，燐酸塩，未固結泥灰土などを含む。リフトを埋める厚い堆積物は炭化水素の探鉱ターゲットである。

(1) レアアース元素（REE）

REE を含む主な鉱物はバストネサイトとモナザイトである。モナザイトはマラウイ南部の Chilwa アルカリ岩区に広く産出し，局地的には風化残留物として重鉱物砂（後述）としても産する。

Kangankunde 複合岩体の中心部にあるカーボナタイトには，モナザイト，ストロンチアナイト，鉱染状マンガン酸化物が伴われる。Tundulu 複合岩体は REE を含む大量のバストネサイトとアパタイトを含む。Mulanje アルカリ岩体では，中～重 REE が風化残留作用により風化殻に濃集している。

(2) ボーキサイト

ボーキサイトは様々な水和酸化アルミニウム（ギブサイト，ダイアスポアなど）からなり，アルミニウムの主要鉱石である。ボーキサイトは，多湿熱帯性気候の地域にある水はけのよい高地で，激しい表層風化の結果として形成される。ボーキサイト化の過程では，プロトリスおよびレゴリスの激しい溶脱とカオリナイトの溶解・脱珪化が起こる。ラテライト質（珪酸塩）ボーキサイトは，世界のボーキサイト資源の 75%以上を占める。これは様々な珪酸塩岩（花崗岩，片麻岩，閃長岩，玄武岩，頁岩）から形成されうるが，低シリカ・高アルミニウム組成で，ガラス質組織を有し，間隙率の高い岩石から優先的に生成する。

Phalombe 平原に囲まれて比高 600～700m でそびえる Mulanje 山には，山体を形成する閃長花崗岩の長期の風化作用によってボーキサイトが発達する。Mulanje のボーキサイト資源は 1924 年から知られており，これまでに Anglo American 社（1934 年），British Aluminium 社（1951～58 年），Lonrho（1969～72 年）などによって探査されている。6 箇所の広範なボーキサイト鉱床が確認されているが，最良の鉱床は Lichenya 高地と Linje 高地において標高 1,800～2,000m に産する。このボーキサイトはカオリナイトを覆う三水和ギブサイトで，針鉄鉱と石英を主な不純物として含む。分析平均値は，

43.3% Al_2O_3 , 13.3%遊離石英, 2.2%複合シリカ, 14.2% Fe_2O_3 , 1.8% TiO_2 , 5.0%未満カオリナイト, 28.8% LOI である。Mulanje 山全体の資源量は 50Mt 以上と推定されている。Lonrho の報告によると, 主要 2 鉱床の資源量は, 平均深度 4.5m, カットオフ品位 Al_2O_3 30%で 28.8Mt である。MET-CHEM Canada 社は 1993 年に MIDCOR に代わって FS 調査を実施しており, ボーキサイト資源量を品位 43.3%で 25.6 Mt と推定し, 年間のアルミニウム生産量を 100 Kt, アルミナ生産量を 200 Kt とするために年間 580 Kt のボーキサイト採掘量を提案した。

Mulanje 山のボーキサイト層は, 熟成カオリナイト質の被覆層が上から下へボーキサイト化した古第三紀 (70~40 Ma) のボーキサイト生成イベントから続く African Surface の残部に関連する。リフトに関連する隆起に影響されている東アフリカでは, ボーキサイト鉱床は稀である。マラウイ・リフト内では, 標高 1,800~2,000m に保存されているようである。

平坦化作用を受けた Zomba 山の山頂 (2,134m) は Mulanje 鉱床と同じような標高にあり, ボーキサイト化作用が卓越した。厚さ 1m の土壌の下に最大厚さ 3m のボーキサイトが産する。最も厚いものは Zomba 高原の境界部に産する。このボーキサイトは, 現在の風化条件下でカオリナイト化に代わっている。

(3) カオリナイト質粘土

製陶に適したカオリナイト質粘土の相当な資源は, Dedza 地区の Linthipe, Netcheu 地区の Senzani と Nkhande に存在する。Linthipe では, 基盤複合岩体の変斜長岩体が原位置で風化して粘土が形成された。曹灰長岩 95%からなる Linthipe の変斜長岩は 230 km^2 に及ぶ低地を形成する。風化断面は, 基盤から上位に向けて, 若干変質した変斜長岩, カオリナイト質サプロック, 塑性カオリンのサプロライトの順で, これを特有の淡灰色の薄いサバンナ土壌が覆う。粘土の厚さ 0.7~1.7m で面積 1.0~3.5 km^2 を有する 4 グループの鉱床が特定されている。総面積は 76 km^2 に及び, 概測資源量は 15 Mt である。ハロイサイトを伴い不規則型のカオリナイトを主体とする粘土は 20~40 の塑性指数をもつ。この粘土は, 陶器, せつ器, アルミノ珪酸塩耐火物, 砂型の製品の主成分となる。Senzani と Nkhande では, それぞれ 0.5 Mt と 0.6 Mt の資源量が確認されている。

(4) ラテライトニッケル

ラテライトニッケル鉱床は, 熱帯から亜熱帯の気候下で, 超塩基性岩が長期に及ぶ広範な風化作用によって形成される。特に, ニッケルの基礎含有量が 0.3%に達する蛇紋岩質岩に発達する。鉱床は風化被覆層に限定されるため, 平坦な板状を呈し大規模になる傾向があり, 低コストの露天掘りが適用される。ラテライトニッケル鉱床は, 世界の陸上ニッケル資源の 73%を占めると推定されている。

Lisungwe Mineral Resources 社は, マラウイ西側のモザンビーク国境に近い Chimwadzulu と, ザンビア国境に近い Chimimbe の超塩基性岩体に, 含ニッケルサプロライトの鉱床を確認している。ピット調査によると, 両鉱床ともにニッケル 0.5%を超える品位で 3.0 Mt 以上という規格によらない資源量が推定されている。両鉱床は走向方向, 傾斜方向, 深部への広がりがある。潜在的に回収可能な量のクロマイトと磁鉄鉱も存在す

る。Chimwadzulu 丘陵は Nyala ルビーの模式産地であり、Nyala Mines 社への一次ライセンス再交付によってニッケルの探鉱は一時中断された。初期の探鉱において、深度 2m のサンプルに対して 0.5m 間隔でのニッケル品位は 0.3~1.0%であった。深度 3m の探鉱に基づく推定資源量は、回収率 80%で金属ニッケル 12 K t に相当する。

Lilongwe の東約 80km にある Chimimbe 丘陵は広大な準平原にそびえ、舗装された幹線道路と鉄道から 12km、送電線からは 6km の位置にある。Chimimbe 丘陵の地表鉍化作用は、Muva 超層群の Mchinji 砂岩に貫入する東傾斜のレンズ状超塩基性岩シートの上位に重なる。超塩基性岩体は丘陵斜面と同じ角度で傾斜し、ほとんどがかんらん岩からなる。丘陵南東部では露出した上盤の一部と思われる滑石片岩が広く分布する。超塩基性岩のシートは NNE 走向の断層で切られている。初期のピット調査では、1×0.5km の範囲で深度 7m の幾つかのピットが掘られた。携帯型の XRF 分析器では、0.3~1.3%のニッケルと 0.3~2%のクロムが示された。基盤のかんらん岩は 0.2~0.8%のニッケルを含有する。岩体の両端部および東傾斜深部は未探査である。現在の 80m 格子間隔で深度 20m の RAB ボーリング調査では、サプロライトの鉍石品位の真の層厚 (10~20m) を決定することを目的とし、地表付近の富鉍体の確認を含めて良好な結果が得られている。丘陵東側の緩斜面上には崖錐堆積物と崩積堆積物が広がっており、高いニッケル・コバルトだけでなく開発可能なフェロクロムを含む。これは扇状地のように斜面の端から 400m まで広がっている。初期の精錬試験では、鉍石中の非磁性粒子に含まれるニッケルの 85%が大気圧での熱硫酸によって迅速に抽出可能とされている。経済的な価値となる量のフェロクロムと磁鉄鉍も簡単な磁性・重力選鉍で回収される。控えめな推定資源量 3Mt でも 15 Kt を超えるニッケルを含むことになる。硫酸は重要なコスト要因となり、簡単に入手できるかどうかはこの鉍床開発の実現性に対して重大なことになる。

高いニッケル含有量を示す数多くの超塩基性岩は基盤複合岩類に産する。ラテライト・サプロライトニッケル鉍化作用は深部にいたる風化殻が保存されている必要があるため、この資源探査はマラウイ西中央部のアフリカ準平原に集中させるべきである。

(5) 磷酸塩

カーボナタイトやその他のアルカリ火成岩は、一般的に高濃度の磷酸塩をフツ素磷灰石の形で含有する。これらの火成岩の風化過程において、溶解性の炭酸塩鉍物が除去され重力により分別されることで、磷灰石および風化に耐性のある鉍物 (磁鉄鉍、パイロクロア、モナザイトなど) が自然に濃集する。磷灰石に富むカーボナタイトが深く風化した被覆層は経済性のある残積層鉍床を形成する可能性がある。磷灰石は、磷酸塩肥料 (磷酸塩化合物の製造、または直接散布) として、また、磷酸や様々な化学物質の生産用に広く利用される重要な原料鉍物である。磷灰石を土壤に直接散布する現行の慣行によると、鉍石の P_2O_5 平均品位は 16%以上で、Fe 含有量が 5%未満であり、潜在的な汚染物質が含まれない必要がある

Kangankunde と Chilwa 島のカーボナタイトは、初生磷灰石をわずかにしか含んでいないが、残留・残積性の磷酸塩の集積部における P_2O_5 含有量は 1.32~8.9%の範囲にあり、平均は 2.5%である。Ligowe 近くの輝岩を覆う残積土は平均 7.8%の塩素磷灰石を含み、1.6 km 南方の風化した輝岩は 12%の磷灰石を含む。この他に、Chingale の変輝岩

(3.76% P₂O₅, 推定資源量 8.76 Mt), Bilira の変輝岩 (平均 1.42% P₂O₅) および Mlindi の超カリウム質輝岩－閃長岩複合岩体でも残積性磷酸塩の集積が報告されている。Mlindi では, 変輝岩を覆い燐灰石に富む残留土の 2 地区において, 7~14%の P₂O₅ 品位で, 2.4 Mt の推定資源量が確認されている。

(6) 漂砂金, PGM

漂砂金は, Kirk 山脈地帯の Lisungwe 河川系, マラウイ中部の Nkhotakota と Nkata 地区を流れる Dwangwa 川とその支流, Nathenje と Mwanza 地域で報告されている。

Manondo 産金地帯を流れる Lisungwe 川とその支流には, 最も豊富な沖積性の金鉱床がいくつかあり, 断続的に操業が行われている。断層を伴う超塩基性岩シート地域を流れる Lisungwe 川の支流である Likudzi 川では, PGM 鉱物 (フェロプラチナなど) も産する。Lisungwe 川と Likudzi 川では粗粒で角張った砂金が産することから, 金の供給源は近いことを示唆する。

沖積性金鉱床のポテンシャルは限定的であるが, 漂砂金の存在は基盤の金鉱床に対する有用な指標である。Nathenje 地域の漂砂金は, 炭酸塩珪酸塩グラニュライトやスカルの露頭と空間的な関連がある。しかし, 金の主な起源は, 準片麻岩中の剪断帯に調和的な石英鉱脈および炭酸塩質片岩中の黄鉄鉱脈にあるとみなされる。Mangochi 地区の Malindi-Makanjira 地域でも金の産出が報告されているが, 未だにその起源は確定されていない。

(7) 重鉱物砂

マラウイには, マラウイ湖沿岸とシレ川流域に少なくとも 2 Bt の可採重鉱物砂が賦存する。重鉱物砂鉱床は, 砂の中に鉱染, レンズ状, 層状に濃集する比重 4.2 以上の高比重鉱物からなり, チタン鉱物, 金, 錫石, ジルコン, モナザイト, ガーネットを主に含む。マラウイで最も重要な資源はチタン鉱物砂鉱床である。強度重量比, 腐食耐性および生体適合性が高く, 毒性がないという特性から, チタニウムは航空宇宙, 軍隊, 医療の分野での戦略的で重要な利用に適する。酸化チタンは, ペンキ, 紙, プラスティックの白い色素の主材料である。

以下の 3 箇所の重鉱物砂鉱床が調査されている。Nsanje 地区の Tengani の崩積鉱床, Salima, Nkhotakota および Mangochi 地区の湖岸の浜砂, Zomba 地区の Chilwa 湖の砂洲である。

東に傾斜する Mulaka 丘陵の麓にある Tengani 地域では, 崩積性の重鉱物砂と礫の資源量が 108 Mt, 重鉱物の含有率は 3.5~35%, ルチルが平均 0.34%, イルメナイトが 1~14%と推定されている。重鉱物粒中のルチル:イルメナイト比は 1:12 から 1:14 と推定されている。1997 年の GSD の調査では, イルメナイト含有率 3%の重鉱物砂が 2.5 Mt, ルチル含有率 0.3%の重鉱物砂が 0.3 Mt とされた。チタン鉱物を多く含むものは, 主に Nkande 川と Namyala 川の間の高台に産する。

Mpyupyu 丘陵の崩積性重鉱物砂は, イルメナイト含有率 38%, ルチル含有率 0.01%で資源量 11.9 Mt とされる (MMNRE, 2004 年)。これらの重鉱物砂は, ソンバ高地の東麓の丘陵が低くなるチルワ湖氾濫源一帯に広がっている。Mpyupyu 丘陵と現在のチルワ

湖沿岸の間には、2つの離れた砂鉱体が確認されており、合計の資源量は約15 Mt、平均品位はイルメナイト 6.93%、ジルコン 0.38%、ルチル 0.2 wt%、白チタン石 0.04%、ガーネット 0.06%である (Dill, 2007)。

マラウイ湖西岸の Chipoka・Salima 周辺の浜砂では、資源量が 700 Mt、重鉱物合計の平均品位は 5.6%と推定されている。この砂は、イルメナイト、ルチル、モナザイト、ガーネットと、微量のジルコンを含む。その他に、角閃石、斜方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱、チタン石、燐灰石、褐簾石、緑簾石、クロム鉄鉱が含まれる。採掘可能な砂層は最大厚さ 5m である。Allied Procurement Agency と南アの Mineral Sands 社は、ジルコンとルチルの大規模開発を開始する計画で、2006 年に Chipoka 北部の湖岸において試験的なポンプ浚渫と生産処理を実施した。Chipoka 湾の資源量は、ジルコンが 6.7 Mt、ルチルが 3.6 Mt である。

Mangochi 地区では、マラウイ湖南東岸の Makanjila に重鉱物砂の大規模な資源が産する。砂丘が長さ 20km の湖岸に沿って幅 6km に広がっており、砂丘の高さは現在の湖水面から最高 100m に及ぶ。資源量は 800 Mt、重鉱物合計の平均含有率は 13.0%と推定され、このうちイルメナイトが 5.2 %と卓越する経済性をもつ。

オーストラリアの Millennium Mining 社は、Makanjila と Salima 湾の砂鉱床に対してイルメナイトの年生産 500 Kt と Chipoka での製錬とする開発を検討している。副産物は高品位の銑鉄が見込まれる。チタンスラグの年産能力を 250 Kt とする精錬所の開発は、モザンビークからの電力供給次第である。

5.5 鉱業法

マラウイ政府は、鉱業セクターを含め民間セクターが国家経済に重大な貢献をなし得ることを認識し、政策を国際的なベストプラクティスに準拠させるプロセスを開始した。最初のステップは、1991 年の投資促進法の制定である。これは、マラウイ経済に外資を呼び込む措置の制度化を目的とした法律で、同法の成立を受けてマラウイ投資促進庁が設立された。同庁はマラウイの投資環境の整備改善を任務とし、潜在的投資家に対する投資アドバイスや情報の提供も行う。鉱業セクターにおける次のステップは、マラウイの鉱物開発を推進するための鉱業政策策定であった。この鉱業政策室は、マラウイで持続可能な社会経済開発を促進することを目的として経済企画開発省が策定した「鉱物での経済成長戦略」を補佐するものである。

マラウイにはこれまで鉱業セクター開発の指針となる鉱業政策がなく、近年まで鉱業の開発が国家目標と関係づけられたことはなかった。鉱業セクター開発に関する政策指針や戦略は、1981 年鉱山鉱物資源法、1983 年石油（探鉱生産）法、1987 年から 1996 年にかけての開発基本方針 (DEVPOL)、1996 年国家環境政策を拠り所とするより他なく、結果的に無計画な鉱物開発が行われてきた。マラウイの鉱業はまだ開発途上で、GDP への貢献度を上げるには大規模な政策改革が必要である。現行政策の明らかな弱点は次のとおりである。

- ・政策方針や法律が曖昧で政府の裁量に拠るところが大きく、外国投資家に明確な趣意が伝わっていない。
- ・マラウイの鉱業法や税政策は時代遅れで、国際的なベストプラクティスに適合しない面もある。
- ・持続可能な開発の原則を、鉱業政策や法律にしっかり組み込む必要がある。
- ・鉱業界から集められた情報が、まだ包括的 GIS システムで利用できるようになっていない。
- ・付与された鉱業権や不動産所有権は、憲法上の保護が必要である。
- ・マラウイ国民には、採掘、付加価値創出、マーケティングの技能が一般に不足している。
- ・非公式鉱業セクターを、持続可能な合法産業に転換していくためのインセンティブが必要である。

鉱業法の概要は以下のとおりである。

マラウイにおけるすべての鉱物資源は国民を代表する大統領に付与されている。これらの鉱物資源の採掘と処分の調査は鉱業法 (Mines and Minerals Act, 1981) で管理されている。この法令の執行は鉱山省の鉱山コミッショナーの責任となっている。

全体的な政策目標は、国の鉱物資源の開発から得られる国家への経済的利益を最大化することである。政府は、投資家に対して、適切な技術を使用して資源の開発が可能な場所を探索し、図化し、評価することを促進する。

(1) 予備調査ライセンス (Reconnaissance Licences : RL)

RL は、ライセンス料金 1,000 MWK、年間負担金 0.1 MWK/km² で 100,000 km² を超えない地域において、定められた計画に対して 1 年間期限で発行される。特別な許可なしで、地下を作業することは認められない。しかし、ライセンス所有者はキャンプおよび一時的な建物を作ることはできる。

(2) 排他的探鉱ライセンス (Exclusive Prospecting Licence : EPL)

EPL は、指定された地域において指定された鉱物の探査プログラムを実行するための排他的な権利を付与する。探査の詳細計画、予想費用、調査者情報が要求される。また、調査におけるマラウイ市民の訓練と雇用のための提案も含まれなければならない。このライセンスは最大で 3 年期限で発行され、各 2 年を超えずに 2 度の更新が可能である。ライセンス料金は 500 MWK、年間負担金は 10 MWK/km² である。各更新時には 200 MWK が必要である。最初の申請時の最大面積は 2,500 km² で、各更新時には 50% が削減される。更新に際して、次の段階における作業計画および見積り費用を含む進捗報告書を鉱山大臣に提出しなければならない。ライセンス所有者は、最終報告書と F/S 報告書を提出した後に、採掘ライセンス (Mining Licence) を申請して付与される自動的な権利を有する。

(3) 採掘ライセンス (Mining Licence : ML)

ML は、EPL 所有者でも非所有者にでも発行される。申請者は、採鉱の予想計画、環境影響評価、マラウイ人の雇用と訓練のための提案を含めた詳細な実現可能性報告書を提出しなければならない。このライセンスは、指定された地域において指定された鉱物の探

鉱、採掘、生産および販売に対する排他的な権利を保有者に付与する。最大面積は EPL 非所有者に対しては 250 km² であり、EPL 所有者に対しては EPL の対象となっている面積を超えない面積となる。ライセンス料金は 1,000 MWK/km² である。ML の最初の期間は、25 年または推定鉱山寿命のうち短い方を超えない期間である。その後 ML は 15 年間を更新することができる。操業における定期的な報告書を鉱山大臣に提出する必要がある。

以下の 3 種類のライセンスは小規模の採掘や探査に対して発行される。分類は財政費用と技術的な専門知識の両方によって制限される。

鉱物許可証 (Mineral Permits) は、建物や建設資材に対して所定の手数料を支払うことにより、その地域の地方長官が個人に発行する。料金は採掘される量に依存する。

非排他的探鉱ライセンス (Non-Exclusive Prospecting Licences : NEPLs) は、大規模な探査を行えないが技術的な専門知識をもつ個人または企業に発行される。所有者は、ライセンスで指定された任意の鉱物に対して 1 つまたは複数の地区で探鉱を行うことができる。所有者は排他的ライセンスが設定された地域では探査を行えない。このライセンスの最初の期間は 1 年間であるが、もう 1 年間を更新することができる。申請者は、4 年以上マラウイに居住しているマラウイ人または外国人でなければならない。所有者は、探査の前に土地の所有者から許可を得なければならない。

鉱区 (Mining Claims) は、見取り図および手数料の提出後に NEPLs の所有者に発行される。鉱区ライセンスは鉱物を試掘し製品を販売するための排他権を所有者に与える。各鉱区に対して区画される最大面積は 2 ha で、ひとつの NEPL で最大 3 つの鉱区が設定される。すべての鉱区は 3 月 31 日に失効し、4 月 1 日に更新される。許可および更新の手数料は、それぞれ 35 MWK, 30 MWK である。鉱区ライセンスは土地所有者に対して鉱区内における放牧や農業を禁止していない。鉱区はいずれかの条件が満たされていないか、鉱床が大規模な機械で採掘される場合に取り消されることがある。所定の様式の年次報告書は鉱山コミッショナーに提出されなければならない。

以下のライセンスは以下のように適用される。

指定鉱物ライセンス (Reserved Minerals Licence) は、貴金属、貴石および半貴石を購入および販売したい人に発行される。手数料は各適用につき 300 MWK で、期間は 1 年間である。

RML, EPL および ML は鉱山大臣の承認によってのみ譲渡が可能である。

マラウイは国家環境行動計画を準備しているが、鉱業法はすでに十分な環境規定を含んでいる。潜在的な環境影響は探査と採掘の申請および鉱業の提案に含まれる必要があり、採鉱および鉱物処理による汚染の防止および土地の現状復旧という環境問題に対処するための提案も提出されなければならない。

6. 衛星データ解析

6.1 衛星データ解析

解析対象とした衛星データは、光学センサの ASTER データと合成開口レーダ (SAR) センサの PALSAR データである。マラウイ全土を網羅する 79 シーンの ASTER データおよび 64 シーンの PALSAR データが調達された。図 6.3, 図 6.15 にそれぞれ ASTER, PALSAR の観測データ位置図を示す。図に示される約 70km 四方の矩形枠が各シーンの観測位置を示す。図 6.4 にマラウイ全土の ASTER データのフォールスカラー画像, 図 6.16 にマラウイ全土の PALSAR の単偏波モザイク画像を示す。衛星データ解析には供与機材である Exelis VIS 社製ソフトウェアの ENVI Ver.4.8 および ESRI 社製の ArcGIS Ver.10 を使用した。

ASTER および PALSAR データの処理・解析を OJT として実施した。データ処理・解析の過程で生成されるデータファイルや出力画像のファイル一覧を表 6.1 に示す。

表 6.1 衛星データと作成ファイル

データ種類	ファイル種別 /データフォーマット	作成ファイルの内容/ファイル名の例	処理フロー JOB 番号
ASTER 元データ	多バンドデータ HDF	14 バンドデータ(VNIR, SWIR, TIR)	JOB00
		AST3A1_yymmddhhmmssyymmdd####.hdf	JOB01
			JOB02
			JOB09
ASTER 処理データ	多バンドデータ ENVI-img	VNIR リサイジングデータ(解像度 30m)	JOB01
		AST_L3A_c01r01_VNIR.img	
	多バンドデータ ENVI-img	VNIR&SWIR 統合データ(9 バンド)	JOB02
		AST_L3A_c01r01_BB9.img	
	モノクロ 2 値データ (マスクデータ) ENVI-img	no data 域マスクデータ	JOB03-1
		AST_L3A_c01r01_BB9_mask.img	
	多バンドデータ ENVI-img	no data 域マスク適用後の統合データ(9 バンド)	JOB03-2
		AST_L3A_c01r01_B1B9_mask.img	
	グレースケールデータ ENVI-img	正規化植生指数データ	JOB04
		AST_L3A_c01r01_NDVI.img	
	モノクロ 2 値データ (マスクデータ) ENVI-img	植生域マスクデータ	JOB05-1
		AST_L3A_c01r01_NDVI_mask.img	
		水域マスクデータ	JOB05-2
AST_L3A_c01r01_water_mask.img			
雲域マスクデータ		JOB05-3	
	AST_L3A_c01r01_cloud_mask.img		
	影域マスクデータ	JOB05-4	
	AST_L3A_c01r01_shadow_mask.img		
多バンドデータ ENVI-img	各種マスク統合データ	JOB05-5	
	AST_L3A_c01r01_all_mask.img		
モノクロ 2 値データ (マスクデータ) ENVI-img	統合マスクデータ	JOB05-6	
	AST_L3A_c01r01_integrated_mask.img		

	多バンドデータ ENVI-img	統合マスク適用後の統合データ(9バンド) AST_L3A_c01r01_masked_B1B9.img	JOB05-7
	RGB カラーデータ (バンド合成画像) GeoTIFF	バンド合成画像(VNIR 元データ, RGB=B3,B2,B1) AST_L3A_c01r01_B3_2_1_base.tif	JOB00
		バンド合成画像(RGB=B3,B2,B1) AST_L3A_c01r01_B3_2_1.tif	JOB06
		バンド合成画像(RGB=B4,B6,B8) AST_L3A_c01r01_B4_6_8.tif	JOB06
		バンド合成画像(RGB=B4,B6,B1) AST_L3A_c01r01_B4_6_1.tif	JOB06
		バンド合成画像(TIR 元データ, RGB=B10,B12,B14) AST_L3A_c01r01_B10_12_14.tif	JOB09
		バンド合成画像(TIR 元データ, RGB=B13,B12,B10) AST_L3A_c01r01_B13_12_10.tif	JOB09
		グレースケールデータ ENVI-img	比演算処理データ(RGB=B4/B8,B3/B8,B3/B1) AST_L3A_c01r01_B4d8.img AST_L3A_c01r01_B3d8.img AST_L3A_c01r01_B3d1.img
	比演算処理データ(RGB=B7/B6,B3/B4,B2/B1) AST_L3A_c01r01_B7d6.img AST_L3A_c01r01_B3d4.img AST_L3A_c01r01_B2d1.img		JOB07
	比演算処理画像(RGB=B4/B8,B3/B8,B3/B1) AST_L3A_c01r01_B4d8_3d8_3d1.tif		JOB08
	比演算処理画像(RGB=B7/B6,B3/B4,B2/B1) AST_L3A_c01r01_B7d6_3d4_2d1.tif		JOB08
	RGB カラーデータ (比演算処理画像) GeoTIFF		
	PC 多バンドデータ ENVI-img	主成分分析結果データ AST_L3A_c01r01_masked_B1B9_PCA.img	JOB10
	テキストデータ ENVI-txt	主成分分析統計データ AST_L3A_c01r01_masked_B1B9_PCA.sta	JOB10
	グレースケールデータ GeoTIFF	主成分分析 PC 単バンド画像 AST_L3A_c01r01_masked_B1B9_PC_B#.tif	JOB10
	RGB カラーデータ GeoTIFF	主成分分析 PC バンド合成画像 AST_L3A_c01r01_PCB#_#_#.tif	JOB10
PALSAR 元データ	グレースケールデータ GeoTIFF	HH 偏波データ PASL150yymmddhhmmssyymmdd####.tif	JOB01
PALSAR 処理データ	グレースケールデータ ENVI-img	HH 偏波モザイクデータ PAL_L15_mosaic_Malawi.img	JOB01
	グレースケールデータ GeoTIFF	HH 偏波モザイク画像 PAL_L15_mosaic_Malawi.tif	JOB02
	シェープファイル	リニアメントラインデータ lineaments.shp	JOB03
	グレースケールデータ GeoTIFF	リニアメント画像 lineaments.tif	JOB04
G-DEM 元データ	グレースケールデータ GeoTIFF	DEM データ ASTGTM2_S##E###_dem.tif	-
G-DEM 処理データ	グレースケールデータ ENVI-img	標高値モザイク画像データ ASTGTM2_mosaic_Malawi.img	-
	グレースケールデータ GeoTIFF	標高値モザイク画像 GDM_mosaic_Malawi.tif	-
	グレースケールデータ ENVI-img	陰影図モザイク画像データ ASTGTM2_mosaic_Malawi_shadedrelief.img	-
	グレースケールデータ GeoTIFF	陰影図モザイク画像 GDM_mosaic_Malawi_shadedrelief.tif	-

6.2 ASTER データ解析

ASTER は、観測する波長の違いに応じて 3 つの光学センサを持っている。ASTER データは可視近赤外域 (VNIR) に 3 つのバンド、短波長赤外域 (SWIR) に 6 つのバンド、熱赤外域 (TIR) に 5 つのバンドの計 14 バンドを持つ、高解像度の多バンドデータという特徴を有する。ASTER の観測波長領域は $0.52\mu\text{m}$ ~ $11.65\mu\text{m}$ の範囲であり、各バンドの観測波長領域はバンド 1 からバンド 14 に向かって波長が大きくなる。ASTER センサのバンド位置を図 6.1 に示す。

本プロジェクトで使用する ASTER データは正射影変換 (オルソ化) の L3A プロダクト (画像データ) である。データフォーマットは HDF-EOS である。マラウイ全域の ASTER L3A データの位置を図 6.3 に示す。

ASTER のデータ処理・解析では ENVI を用いる。データ処理では、センサ間の観測域のズレにより生じるデータ欠落部や欠損データのマスクングを行う必要がある。さらに地質の解析が行えない植生域、水域、雲域および影域のマスクング処理を行う。これらの前処理をマラウイ全域の ASTER データの 79 シーンについて実施した。基本解析では、前処理された衛星データを用いて 5 種類のバンド合成画像および 2 種類の比演算処理画像を 79 シーンで作成した。応用解析では、現地検証調査を実施した一部の地域を対象として主成分分析を実施し、主成分バンドの合成画像を作成した。同時に ASTER データの高解像度を活かした地質構造の判読、SWIR および TIR データの多バンドを活かした鉱物マッピングおよび岩相マッピングを行った。

ASTER データの解析フローを図 6.2 に示す。図 6.2 に示す一連の処理・解析作業に対して、OJT による技術移転を行った。同時に、ENVI を用いたデータ処理・解析マニュアルを作成し、このマニュアルに基づいて実際のデータ処理・解析を行った。マラウイ湖南西岸に位置する Salima 周辺の 1 シーンにおける全 14 バンドのグレースケール画像を図 6.5 に示す。図 6.6~6.12 の各画像もこのシーンの解析結果である。

ASTER データの処理・解析作業内容を表 6.1 の衛星データと作成ファイル一覧および図 6.2 の ASTER データの解析フローに示す JOB 番号に対応させて以下に記述する。なお、これ以降の表記として、RGB=B3,B2,B1 は、バンド 1 (B1)、バンド 2 (B2) およびバンド 3 (B3) に、それぞれ、赤 (R)、緑 (G) および青 (B) を割り当てたカラー合成画像であることを表す。

6.2.1 前処理

JOB00 : データ品質やデータ観測地域の概要を確認する目的で、オリジナルデータのフォールスカラーのバンド合成画像を作成する。ENVI を用いて ASTER の L3A プロダクトを開くと 14 バンドのデータが読み込まれる。その中から VNIR の 3 バンドを選択してバンド合成画像を作成する。出力画像のバンド組み合わせは RGB=B3, B2, B1 である。

JOB01 : ASTER の可視近赤外域 (VNIR) データは 15m、短波長赤外域 (SWIR) データは 30m の解像度を持つ。バンド演算や合成画像作成のためには解像度を合わせる

必要がある。3バンドのVNIRデータをSWIRデータと同じ30mの解像度にリサイズする。

JOB02 : JOB01において30mの解像度にリサイズしたVNIRの3バンドとJOB01において読み込まれたL3Aプロダクト内のSWIRの6バンドを選択する。これら9バンドのデータをまとめて一つに統合したファイルを作成する。

JOB03-1 : バンド間において観測スワスの両端でデータ範囲がわずかに異なる。全バンドでデータが存在する範囲のみのデータを作成するために、9バンドにデータが存在していない部分のマスクを作成する。

JOB03-2 : JOB3-1で作成したマスクをJOB02で作成した9バンドデータに適用して、全9バンドでデータが存在する範囲のみのデータファイルを作成する。

79 シーンデータについて、上記の前処理を行うことで、解析用のデータ（VNIR-SWIR 統合の9バンドデータ）が作成される。このデータに対して、以下の基本解析と応用解析を実施した。

6.2.2 基本解析

JOB04 : JOB03で作成した解析用9バンドデータを用いて正規化植生指数（NDVI）を計算する。NDVIの計算にはバンド2とバンド3を用いた。NDVI値の分布データから植生域のマスクを作成する。

JOB05-1 : JOB04で計算したNDVIの分布データから植生域マスクを作成する。植生域とその他地域との区別は具体的にはNDVIの値についてシキイ値を決めて分離し、マスクを作成する。

JOB05-2 : 水域分布の特徴を良く捉えているバンドのグレースケール画像を用いて水域のマスクを作成する。本プロジェクトでは水域マスク作成にはバンド3の値を用いた。水域とその他地域との区別は具体的にはグレースケールの数値についてシキイ値を決めて分離し、マスクを作成する。

JOB05-3 : 雲域分布の特徴を良く捉えているバンドのグレースケール画像を用いて雲域のマスクを作成する。本プロジェクトでは雲域マスク作成にはバンド1の値を用いた。雲域とその他地域との区別は具体的にはグレースケールの数値についてシキイ値を決めて分離し、マスクを作成する。

JOB05-4 : 影域分布の特徴を良く捉えているバンドのグレースケール画像を用いて影域のマスクを作成する。本プロジェクトでは影域マスク作成にはバンド3の値を用いた。影域とその他地域との区別は具体的にはグレースケールの数値についてシキイ値を決めて分離し、マスクを作成する。影域は主に雲による影で構成されるが、急峻な地形と日照との位置関係により生じる影域についても抽出し、影域のマスクを作成する。また、暗色系の土壌や岩石は影域に近い数値を示すので解析対象であるこれらの地域がマスク処理されないよう配慮が必要である。その際、画像によってはシキイ値による領域の区別が不可能な場合がある。その場合にはマニュアル操作によるドローイングでマスク作成を行い、解析対象とならない領域のマスク処理を行った。

特に解析結果に影響するデータ処理としては各種マスクの作成作業とマスク処理作業が挙げられる。マスクの作成作業では、どのバンドの画像を用いて、あるいは複数のバンドを用いた演算処理を行った結果を用いてマスク領域を決定したかにより、解析領域の範囲が変わってくる。マスク対象となる領域の特徴を良く捉えているバンドを選択し、その数値に基づいて、地質マッピングの対象となる岩石等の分布域と対象とならない植生域等を区別するための各種マスクを作成する必要がある。

JOB05-5：植生域マスク、水域マスク、雲域マスク、影域マスクを各バンド成分とする統合マスクファイルを作成する。

JOB05-6：**JOB05-5** で作成した統合マスクファイルからすべてのマスクバンドを併せてひとつの合成マスクを作成する。

JOB05-7：**JOB03** で作成した解析用 9 バンドデータに対して **JOB05-6** で作成した合成マスクを適用する。

JOB06：**JOB05-7** で合成マスク処理された 9 バンドデータを基に各種のバンド合成画像を作成する。出力画像のバンド組み合わせは RGB=B3, B2, B1 と RGB=B4, B6, B8 と RGB=B4, B6, B1 の 3 通りである。

JOB07：**JOB05-7** で合成マスク処理された 9 バンドデータを基にバンド間の比演算を行う。比演算の計算は B2/B1, B3/B1, B3/B4, B3/B8, B4/B8, B7/B6 の 6 種類である。

JOB08：**JOB07** で実施した比演算結果から各種のカラー合成画像を作成する。出力画像のバンド組み合わせは RGB=B4/B8, B3/B8, B3/B1 と RGB=B7/B6, B3/B4, B2/B1 の 2 通りである。

JOB09：ASTER のオリジナルデータに含まれる TIR の 5 バンドデータを基に各種のバンド合成画像を作成する。出力画像のバンド組み合わせは RGB=B10, B12, B14 と RGB=B13, B12, B10 の 2 通りである。

6.2.3 応用解析

JOB10-1：**JOB05-7** で合成マスク処理された 9 バンドデータを基に主成分分析 (PCA) を実施する。主成分分析では、直交回転を用いてバンド間に相関がある元の観測値を、相関の無い主成分とよばれる値に変換し新しい PCA バンドセットを求める。通常、重要な画像情報は低次成分に集中するのに対し、ノイズは、成分番号が大きくなるに従い大きくなる。元の画像バンドの代わりに低次 PCA バンドを使用すると特徴的な地質の分布を抽出することができる。

JOB10-2：**JOB10-1** で実施した主成分分析の結果得られた各主成分バンドを基に、各種の主成分バンド合成画像を作成する。出力画像のバンド組み合わせは解析対象地域の地質の特徴を示す主成分バンドを 3 バンド選択し、合成画像を作成する。各主成分バンドがもつ地質学的情報はシーンによって異なるため、どの主成分バンドが地域の地質をよく表現するか、また、どのバンド組み合わせが最も有効かは、各シーンによって異なる。一般的には、主成分分析の第 1 主成分バンド (PCA-B1) はアルベドを表す。

6.2.4 解析画像

前処理および基本解析を実施した合成マスク処理された 9 バンドデータから図 6.9～図 6.12 に示すバンド合成画像および比演算処理画像を作成した。

JOB00 で作成したオリジナルデータのバンド合成画像例を図 6.6 に示す。バンド組み合わせは RGB=B3, B2, B1 の VNIR バンドである。この画像は前処理前の画像のため解析対象域外でも観測値に応じたカラー表示が見られる。図 6.6 において、主に赤色系が植生域、濃青色系が水域、茶色系が土壌や岩石などを表している。

JOB05 で作成した各種マスクの例を図 6.7 に示す。植生域のマスクは左上、水域のマスクは右上、雲域のマスクは左下、影域のマスクは右下にそれぞれ示される。すべてのマスク画像において、黒色域が画像解析されない領域としてマスク処理される部分である。それらのマスクを合併して作成された合成マスクデータ例を図 6.8 に示す。

JOB06 で作成された VNIR バンド合成画像 (RGB=B3, B2, B1) の例を図 6.9 に示す。図中の黒抜けした部分が図 6.8 に示すマスクを適用してマスク処理を行った部分であり、解析対象域外を示す。図 6.6 と比較すると植生域、水域、雲域、影域が黒抜けしており、マスク処理が適切に行なわれたことが確認できる。図 6.6 と図 6.9 は全く同じバンドを使用した画像であるが、両画像の色調は異なり、土壌や岩石の分布域では図 6.9 の方が色相変化に富んでおり、結果として地質情報の判読がしやすくなっている。同じく作成された SWIR バンド合成画像の例を図 6.10 に示す。バンド組み合わせは RGB=B4, B6, B8 である。図 6.10 の SWIR バンド合成画像では、Al-OH 基または Mg-OH 基を有する鉱物類の存在の有無が主に表現されており、マゼンタ系と青緑系では岩相が異なる。一般的には、マゼンタ系は Al-OH 基鉱物からなる酸性粘土変質、緑色系は Mg-OH 基鉱物からなるプロピリティック変質を表す。

JOB08 で作成された比演算処理バンド合成画像の例を図 6.11 に示す。バンド組み合わせは RGB=B4/B8, B3/B8, B3/B1 である。図 6.11 の比演算処理画像では、酸化鉄鉱物や塩基性鉱物などの存在の有無および鉱物種の違いによる色調の変化が表現されている。

JOB09 で作成された TIR バンド合成画像の例を図 6.12 に示す。バンド組み合わせは RGB=B10, B12, B14 である。図 6.12 の TIR バンド合成画像では、岩石に最も多く含まれる SiO₂ の含有量の違いが表現されている。相対的に SiO₂ を多く含む岩石ではバンド 10～12 の放射率が低くなり、SiO₂ の少ない岩石ではバンド 13 と 14 の放射率が低くなる。このため、酸性火成岩分布域は青色系、塩基性火成岩分布域は赤色系を示す。

JOB10 で作成された主成分分析バンド合成画像の例を図 6.13 の左に示す。図の地域は現地検証調査を実施したパルラ地区である。バンド組み合わせは RGB=PCA-B2, PCA-B4, PCA-B6 である。比較のために地質図を右に示す。地質図との比較から、赤色～橙色の分布は黒雲母片麻岩 (Xh'), 赤紫は輝石片麻岩 (Xsy), 青紫は輝岩 (Xup) にそれぞれに対比され、色調の異なるこれらの分布域は地質図と調和的な結果を示す。

6.3 PALSAR データ解析

PALSAR は日本の最新の資源衛星 ALOS に搭載された合成開口レーダセンサで、観測

するマイクロ波の偏波や分解能に応じて複数の観測モードプロダクト（画像データ）がある。本プロジェクトで使用する PALSAR データはオルソ補正済みの Level 1.5 プロダクトである。マラウイ全域をカバーする高精度の PALSAR L1.5 データは、オフナディア角 34.3 度の単偏波データであり、地上分解能は約 15m である。データフォーマットは GeoTIFF である。マラウイ全域の PALSAR L1.5 データの位置を図 6.15 に示す。

PALSAR のデータ処理・解析では ENVI および ArcGIS を用いる。個々の画像データを貼りあわせてマラウイ全土の画像データを作成する全画像データモザイク処理を行うために、一部データの処理を実施して処理パラメータの調整を行った後、64 シーンについて全画像データモザイク処理を実施した。さらに、SAR データに対する通常の写真地質学的判読によって、リニアメントを抽出して、地質構造を解読した。現地検証調査を実施した地域を対象としてリニアメントおよびチルワアルカリ岩区に特徴的な円形状構造の抽出を行った。

PALSAR データの解析フローを図 6.14 に示す。図 6.14 に示す一連の処理・解析作業に対して、OJT による技術移転を行った。ASTER データ解析と同様に、ENVI を用いたデータ処理・解析マニュアルを作成し、そのマニュアルに基づいて実際のデータ処理・解析を行った。

PALSAR データの処理・解析作業内容を表 6.1 の衛星データと作成ファイル一覧および図 6.14 の PALSAR データの解析フローに示す JOB 番号に対応させて以下に記述する。

6.3.1 モザイク画像の作成

JOB01 : PALSAR プロダクト数シーンを用いて重なりあった画像の境界部分のフェザリング処理等のパラメータの設定値を決定した後、64 シーンのモザイク処理を実施し、モザイク処理画像ファイルを作成する。

JOB02 : JOB01 で作成したモザイク処理画像ファイルを用いてグレースケールのモザイク画像ファイル（GeoTIFF フォーマット）を作成する。

図 6.16 にモザイク処理で作成されたマラウイ全土の PLALSAR モザイク画像を示す。図中の細かい明暗の陰影は地形の起伏や地質図で見られる断層等の構造の変化に対応して表現される。まとまった広さの暗色部は主に水域を示す。図 6.17 はマラウイ南部地域を拡大して表した PLALSAR モザイク画像である。ムランジェ山地域の起伏の様子やマチンガ周辺の円形状の構造分布、ゾンバからブランタイアにかけての NNE-SSW 系の線状構造の分布の様子が明瞭に捉えられている。

6.3.2 リニアメント抽出

JOB03 : PALSAR モザイク画像を基に、SAR データに対する通常の写真地質学的判読によって、リニアメントを抽出する。JOB02 で作成した PALSAR モザイク画像を ArcGIS に取り込む。ArcGIS のポリライン作成機能を用いてリニアメントを描画する。抽出されたリニアメントを shape ファイル形式で保存する。

JOB04 : JOB03 で作成されたリニアメントの shape ファイルを用いて、リニアメント画像を作成する。

リニアメント抽出の参照データとするために ASTER の G-DEM データから作成したマラウイ南部地域の地形図を図 6.18 に示す。図 6.19 にマラウイ南部地域を対象として PALSAR モザイク画像から抽出したリニアメントおよびチルワアルカリ岩区に特徴的である円形状構造の分布図を示す。リニアメント等の抽出は主に解析対象地域について OJT の一環として作業を実施した。ムランジェ山地域の複雑に分布するリニアメント構造やマチング周辺の円形状の構造分布、ゾンバ周辺の発達したリニアメント構造の分布状況、ブランタイアからチクワワにかけて広く認められる NE-SW 系のリニアメント構造の分布の様子が明瞭に捉えられている。地質図で見られる断層等からなるリニアメント構造を PALSAR のモザイク画像を用いたリニアメントの抽出により明確に確認することができた。

6.4 衛星データ解析の検証調査

衛星データ解析の精度を向上させること、解析結果に対する理解度を深めることを目的として衛星データの現地検証調査を OJT の一環として行った。検証調査対象地域は、衛星データ解析結果に対して、岩相、鉱物、地質構造の確認や鉱徴地の調査が必要と判断される地域を選定した。現実的には GSD の拠点であるマラウイ南部のゾンバまたは主要都市であるブランタイアから日帰りでの調査が可能な地点を選定した。図 6.20 に衛星データの検証調査の位置図を、図 6.21 に ASTER 画像 (RGB=B3, B2, B1) を示す。検証調査対象地域として、バラカ地区 (5 箇所)、リウオンデ地区 (5 箇所)、パルラ地区 (5 箇所)、ゾンバ地区 (4 箇所)、チクワワ地区 (5 箇所)、ムランジェ地区 (5 箇所) の 6 地区、29 地点を検証調査箇所として設定し、現地検証調査を実施した。

6.4.1 調査工程

現地検証調査は、2012 年 11 月 5 日から 5 日間にわたって実施された。参加 C/P は、手配車両の数と定員の関係で 1 日あたり 3 名あるいは 7 名である。11 月 5 日から 7 日にかけてはゾンバから日帰りで調査を行った。チクワワ地区についてはゾンバからの日帰り調査は困難なため、同地区の調査後 11 月 8 日にブランタイアに 1 泊して、翌 9 日にムランジェ地区を調査した。表 6.2 に現地検証調査の調査工程を示す。

6.4.2 調査内容

あらかじめ調査する箇所の衛星データの解析画像 (縮尺 5 千分の 1~1 万分の 1) をプリント出力し、現場に持参する。現場では、解析画像と岩石露頭とを比較して検証する。代表的な露頭の岩石試料を採取し、露頭および周辺の状況の写真を撮影する。あらかじめ用意しておいた記載シート (図 6.22) に、現場で以下の調査内容を記入する。

- ・ 岩石種類, 主要な構成鉱物の種類
- ・ 地質構造, 線構造の走向・傾斜の測定
- ・ GPS で取得した位置データ

- ・露頭状況，植生状況
- ・写真撮影，岩石試料採取の内容

記載シートの作成例を図 6.22 に示す。また，GPS データの取得方法，GPS データの PC への転送方法，GPS データの GIS データ化についても技術移転の対象として OJT を実施した。

現地検証調査の結果を表 6.3 に，衛星データの検証調査地域の写真を図 6.23 に示す。

表 6.2 衛星データ解析の現地検証調査の調査工程

月 日	調査団	参加 C/P	現地検証調査地区
11 月 5 日	小沼，武田	3 名	バラカ地区 (Blk01～04)
11 月 6 日	小沼，武田	3 名	バラカ地区 (Blk05)，パルラ地区 (Pal01～05)
11 月 7 日	小沼，武田	7 名	リウオンデ地区 (Lwd01～05)， ゾンバ地区 (Zmb01～04)
11 月 8 日	小沼，武田	3 名	チクワワ地区 (Ckw01～03，Len01～02)
11 月 9 日	小沼，武田	3 名	ムランジェ地区 (Mul01～05)

6.5 衛星データ解析のマニュアル作成

C/P が衛星データ解析を自立的に継続するために必要な解析作業マニュアルの作成を OJT の一環として実施した。前述の衛星データ解析作業については，本プロジェクトの終了後も C/P が独力で自立的かつ継続的に実施していくことが必要であり，本プロジェクトの OJT の最終的な目標である。このために，C/P が主体となってデータ解析の作業マニュアルを作成した。衛星データ解析には主に Exelis VIS 社の ENVI を使用することから，Exelis VIS 社が ENVI ユーザに対して提供している「A Quick Start to ENVI/ENVI チュートリアル」および「Getting Start with ENVI/マニュアル」を参考にして，マニュアルの作成を行った。また，解析の一部では ESRI 社の ArcGIS を使用するが，ArcGIS についても同様にマニュアルを作成した。マニュアルでは主に ASTER データ解析，PALSAR データ解析，G-DEM データ解析および LANDSAT データ解析についての記述を行った。以下に衛星データ解析のマニュアルに盛り込んだ項目を示す。衛星データ解析マニュアルの集約版を巻末資料 4 に示す。

(1) ASTER データ解析

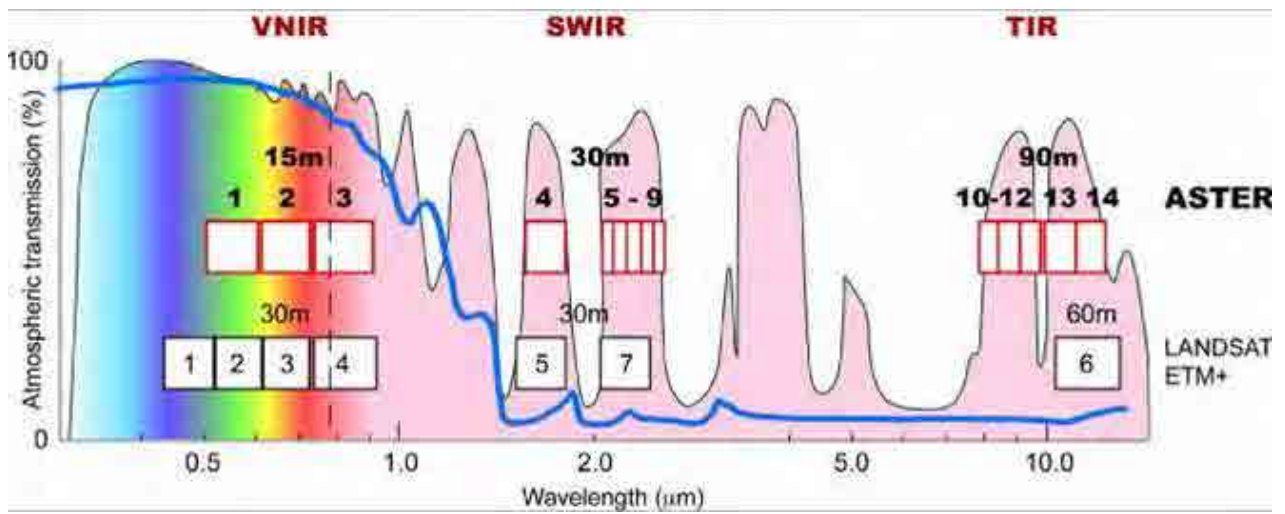
- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・データリサイジング
- ・データ／バンドの統合
- ・正規化植生指数 (NDVI) の算出

- ・マスク作成と適用（解析対象領域，植生，雲，水域，影域）
 - ・バンド合成画像の作成
 - ・比演算処理
 - ・比演算合成画像の作成
 - ・主成分分析（PCA）
- (2) PALSAR データ解析
- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
 - ・モザイク処理
 - ・モザイク画像の作成
 - ・リニアメント抽出
- (3) G-DEM データ処理
- ・モザイク処理
 - ・ASTER G-DEM カラー段彩地形図の作成
 - ・陰影データ作成処理
 - ・ASTER G-DEM 陰影図の作成
- (4) LANDSAT データ処理
- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
 - ・データ／バンドの統合
 - ・正規化植生指数（NDVI）の算出
 - ・マスク作成と適用（解析対象領域，植生，雲，水域，影域）
 - ・バンド合成画像の作成
 - ・3次元マップの作成

本プロジェクトの OJT により作成された ENVI 解析手順マニュアルの一部を図 6.24 に示す。本プロジェクトのマニュアルでは，ENVI の各操作手順に対して，ENVI で表示される実際のメニュー画面やイメージなどを挿入して，視覚的にもわかりやすいものを作成した。結果として，初心者でも ENVI を操作して，衛星データ解析が行えるようなマニュアルを作成することができた。

表 6.3 衛星データ解析の現地検証調査結果

Site ID	UTM -E (m)	UTM -N (m)	Geologic map code	Rock name (in geological map)	Minerals identified (in situ)	Rock name (in field)	Sample ID	ASTER image column # / row #
Blk01	671,761	8,361,780	Xsy	Perthite Gneiss grading into Perthosite	Plagioclase,orthoclase,biotite	Granite gneiss	Blk01	10 / 2
Blk02	672,321	8,359,612	Xs'	Banded Gneiss	Plagioclase,biotite,almandine	Biotite gneiss	Blk02	10 / 2
Blk03	671,514	8,358,811	Xt	Plagioclase granulite	Almandine,magnetite,plagioclase,Biotite	Biotite gneiss	Blk03	10 / 2
Blk04	674,976	8,363,974	Xgg	Quartzofeldspathic granulite and Gneiss	Magnetite,Biotite,Plagioclase	Granitic gneiss	Blk04	10 / 2
Blk05	698,183	8,355,969	Xna	Augen Gneiss	Quartz,Biotite,Orthoclase,plagioclase	Augen gneiss	Blk05	10 / 2
Pal01	700,828	8,315,703	Xgg	Quartzofeldspathic granulite and Gneiss	Muscovite,Biotite,Quartz	Biotite Muscovite gneiss	Pal01	11 / 3
Pal02	700,963	8,291,482	Xc	Marble	Calcite,dolomite,quartz,feldspar	Marble	Pal03A	11 / 3
Pal03	700,826	8,291,646	Xh'	Hornblende-Biotite Gneiss with Variable amounts of Epidote	Biotite,epidote,plagioclase,Hornblende	Hornblende-Biotite gneiss	Pal03B	11 / 4
Pal04	703,292	8,291,398	Xsy	Anatectic Pyroxene-perthosite gneiss	Quartz,plagioclase,augite	Pyroxene gneiss	Pal04	11 / 4
Pal05	704,529	8,290,593	Xup	Meta-pyroxenite	actinolite,augite	Pyroxenite	Pal05	11 / 4
Lwd01	741,077	8,324,245	Pu	Pulaskite and Course pulaskite	Hornblende,feldspar	Syenite	Lwd01A	11 / 3
Lwd02	739,072	8,325,276	Xggs"	Biotite-quartz-feldspar-gneiss	Feldspar,Biotite,quartz	Gneiss	Lwd02	11 / 3
Lwd03	738,154	8,325,242	Xc	Calc-silicate gneiss and granulite	Biotite,feldspar	Calc-silicate gneiss	Lwd03	11 / 3
Lwd04	736,150	8,323,018	Xh'	pyroxene-hornblende-biotite-gneiss,occasional garnetiferous	augite,hornblende,Biotite,	Hornblende-biotite-gneiss	Lwd04	11 / 3
Lwd05	740,873	8,323,796	Nsy	Nepheline Syenites	Plagioclase,Biotite	Syenite	Lwd01C	11 / 3
Zmb01	747,084	8,299,175	Xk	Charnockitic gneiss and granulite	Biotite,plagioclase,quartz	Biotite-gneiss	Zmb01	11 / 3
Zmb02	748,441	8,299,726	Qmsyp	Porphyritic quartz-Microsyenite	Feldspar,Biotite,quartz	Syenite	Zmb02	11 / 3
Zmb03	747,074	8,301,702	Sy	Syenites	Biotite,plagioclase,hornblende	Syenite	Zmb03	11 / 3
Zmb04	748,480	8,293,421	Xqsy	Anatectic quartz-syenite	Quartz,hornblende plagioclase	Syenite	Zmb04	11 / 4
Ckw01	672,788	8,212,600	Kt	Massive grits and sandstone with horizon of flaggy sandstone	Quartz,feldspar	Sandstone	Ckw01	11 / 5
Ckw02	673,379	8,212,863	Kt	Massive grits and sandstone with horizon of flaggy sandstone	Quartz,hornblende,biotite,	Conglomerate	Ckw02	11 / 5
Ckw03	682,960	8,213,806	Xh'	Hornblende-Biotite-gneiss	Quartz,plagioclase,Biotite	Hornblende-biotite-gneiss	Ckw03A	11 / 5
Len01	672,430	8,202,538	Km	Grits,sandstone and calcareous shales	Quartz,feldspar	Conglomerate and sandstone	Len01	11 / 5
Len02	672,769	8,202,483	Km	Grits,sandstone and calcareous shales	Quartz,feldspar	Conglomerate and sandstone	Len02B	11 / 5
Mul01	767,072	8,240,579	Sy	Syenite (float)	Quartz,Biotite,plagioclase,hornblende	Syenite	Mul01	13 / 4
Mul02	777,492	8,247,330	Xh'	Hornblende-biotite-gneiss	Biotite,quartz,plagioclase	Biotite gneiss	Mul02	13 / 4
Mul03	782,789	8,259,169	Xsy	Perthite-gneiss	Biotite,plagioclase,quartz	Biotite gneiss	Mul03	13 / 3
Mul04	785,599	8,259,397	Qsy	Quartz:Syenite	Feldspar,syenite	Syenite	Mul04	13 / 3
Mul05	800,523	8,263,231	Nsy	Nepheline Syenites	Quartz,plagioclase,Biotite	Syenite	Mul06	13 / 3



波長帯	バンド番号	バンド波長範囲 (μ m)	地上分解能
可視近赤外域 (VNIR)	1	0.52 - 0.60	15m
	2	0.63 - 0.69	
	3	0.78 - 0.86	
短波長赤外域 (SWIR)	4	1.600 - 1.700	30m
	5	2.145 - 2.185	
	6	2.185 - 2.225	
	7	2.235 - 2.285	
	8	2.295 - 2.365	
	9	2.360 - 2.430	
熱赤外域 (TIR)	10	8.125 - 8.475	90m
	11	8.475 - 8.825	
	12	8.925 - 9.275	
	13	10.25 - 10.95	
	14	10.95 - 11.65	

図 6.1 ASTER センサのバンド位置

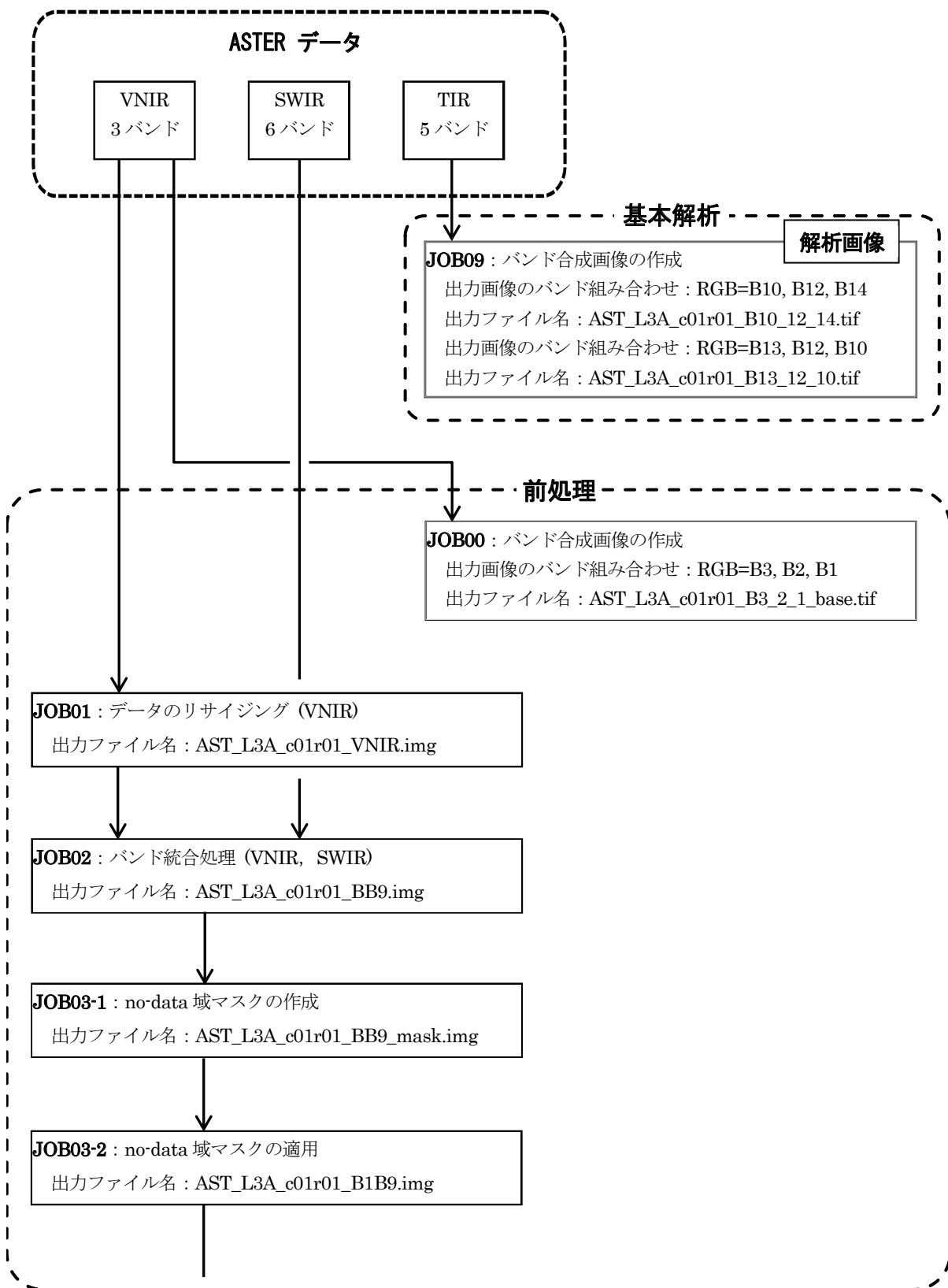


図 6.2 ASTER データの処理フロー(1/3)

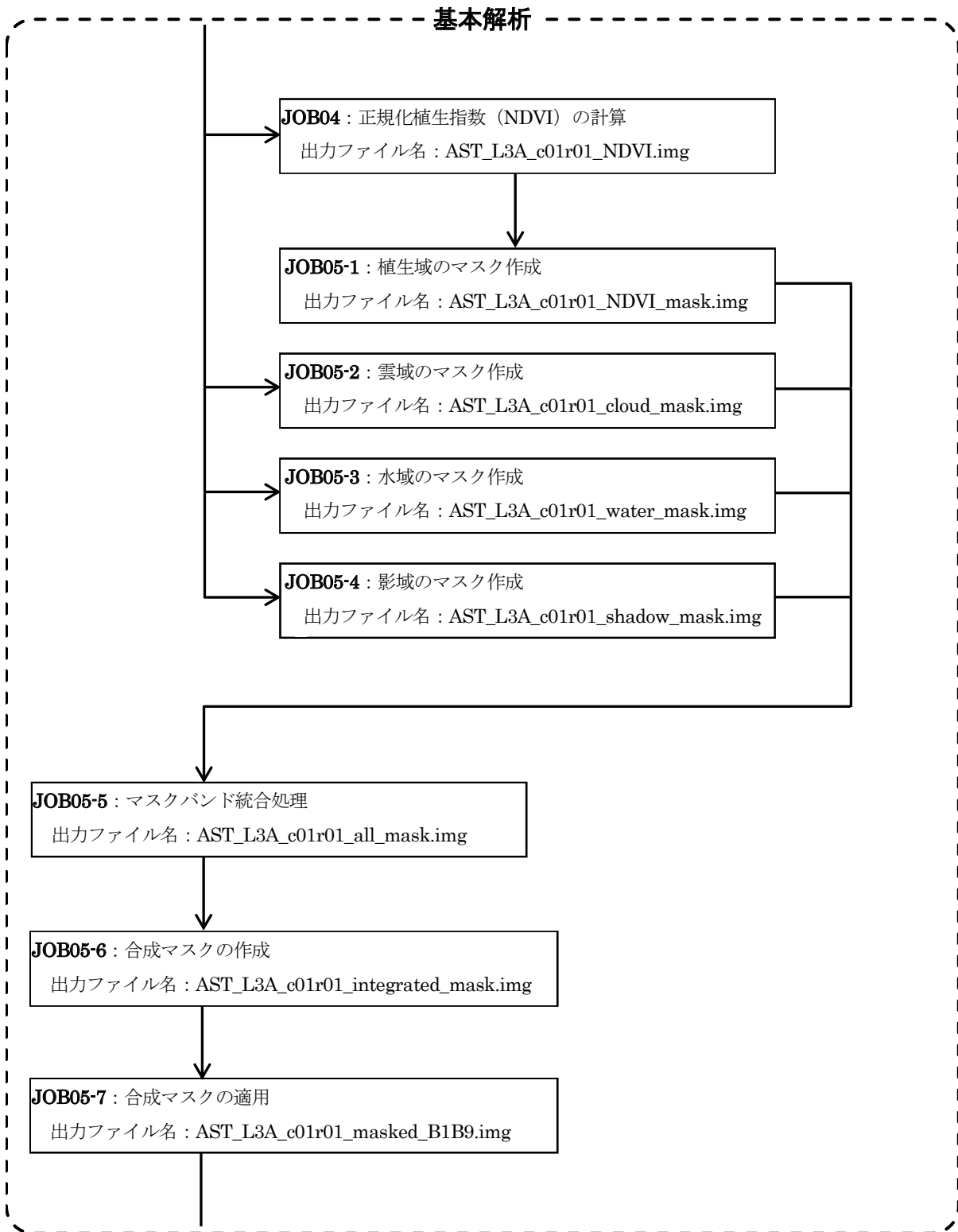


図 6.2 ASTER データの処理フロー(2/3)

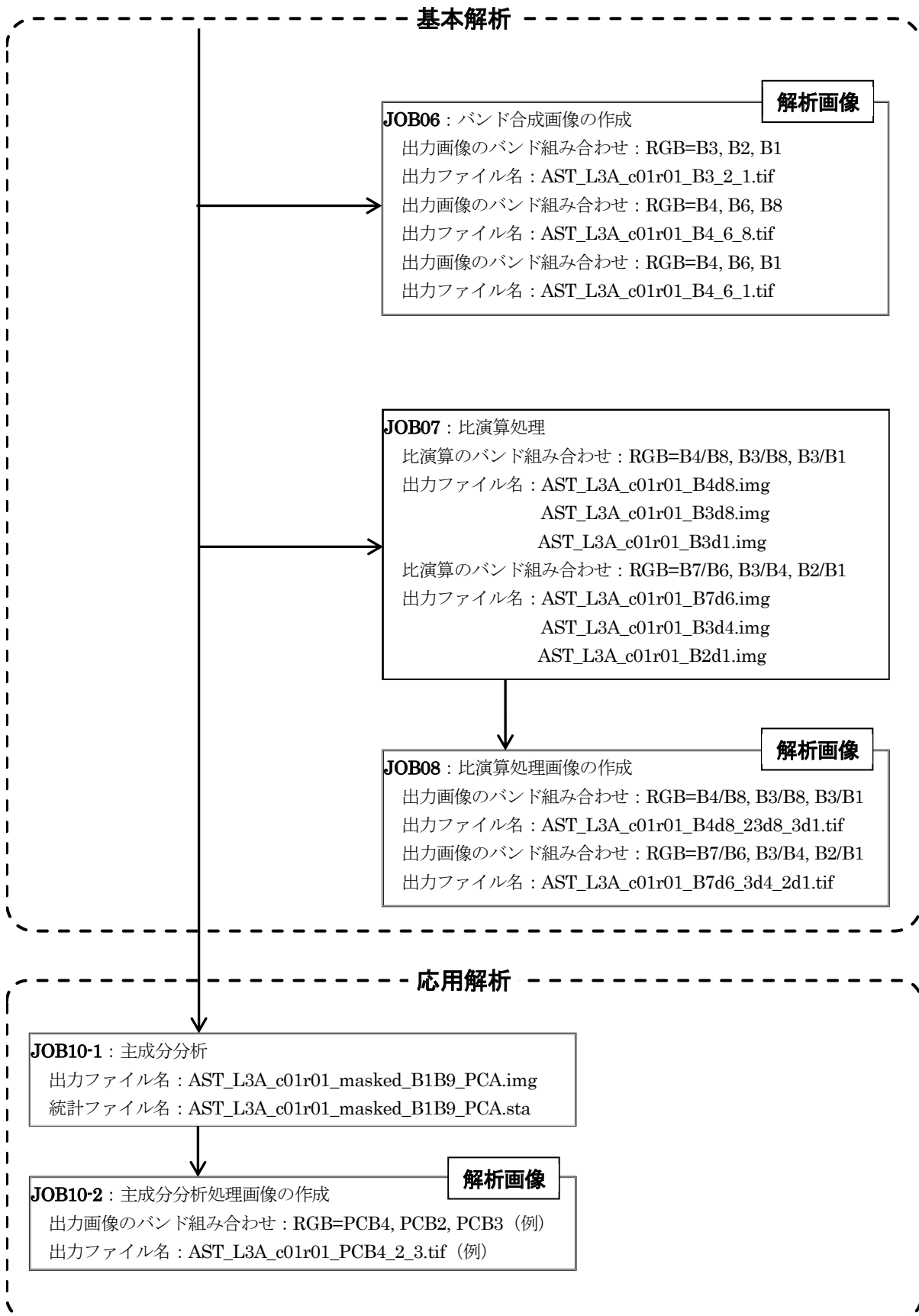


図 6.2 ASTER データの処理フロー(3/3)

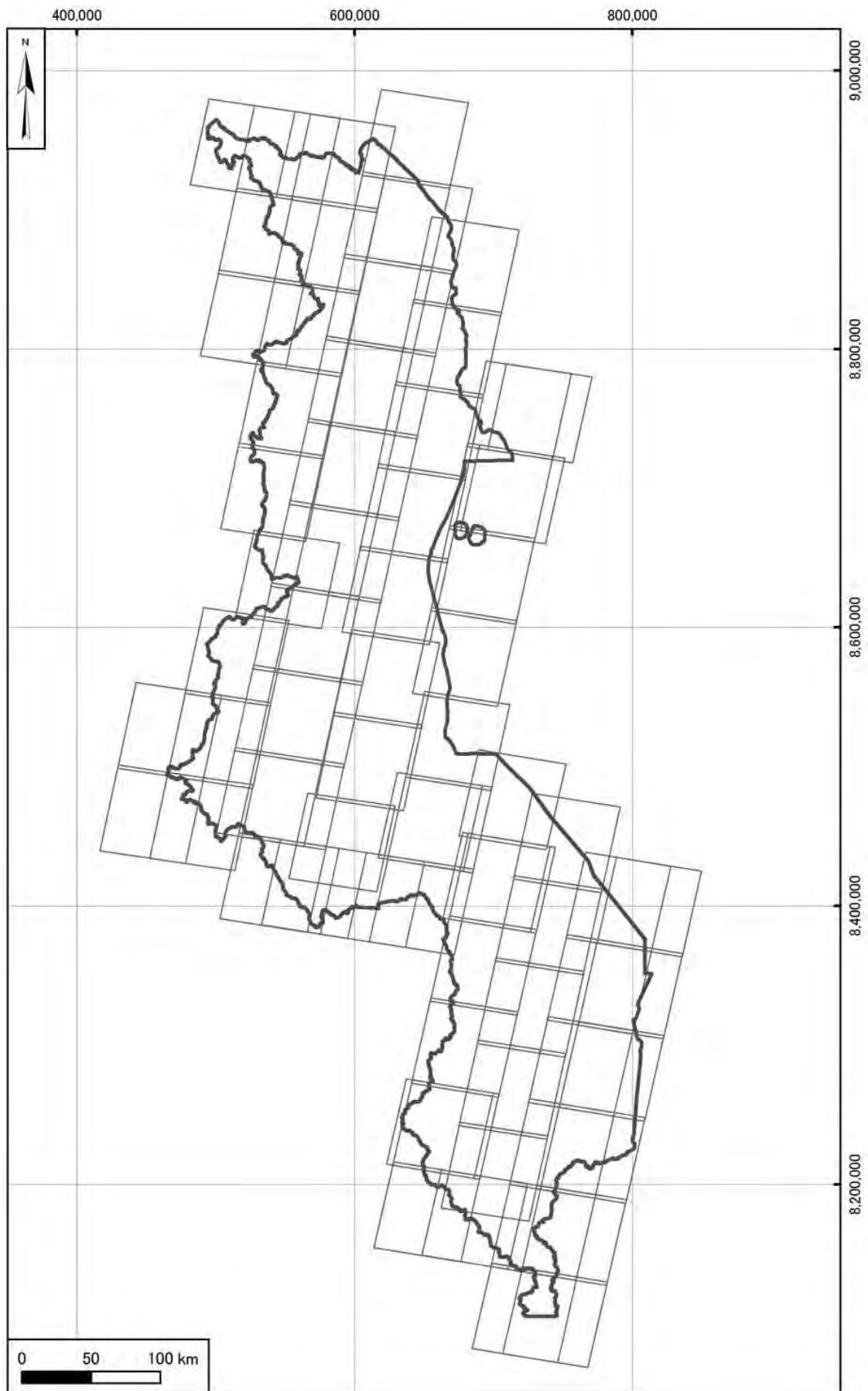


図 6.3 ASTER データ位置図(全 79 シーン)

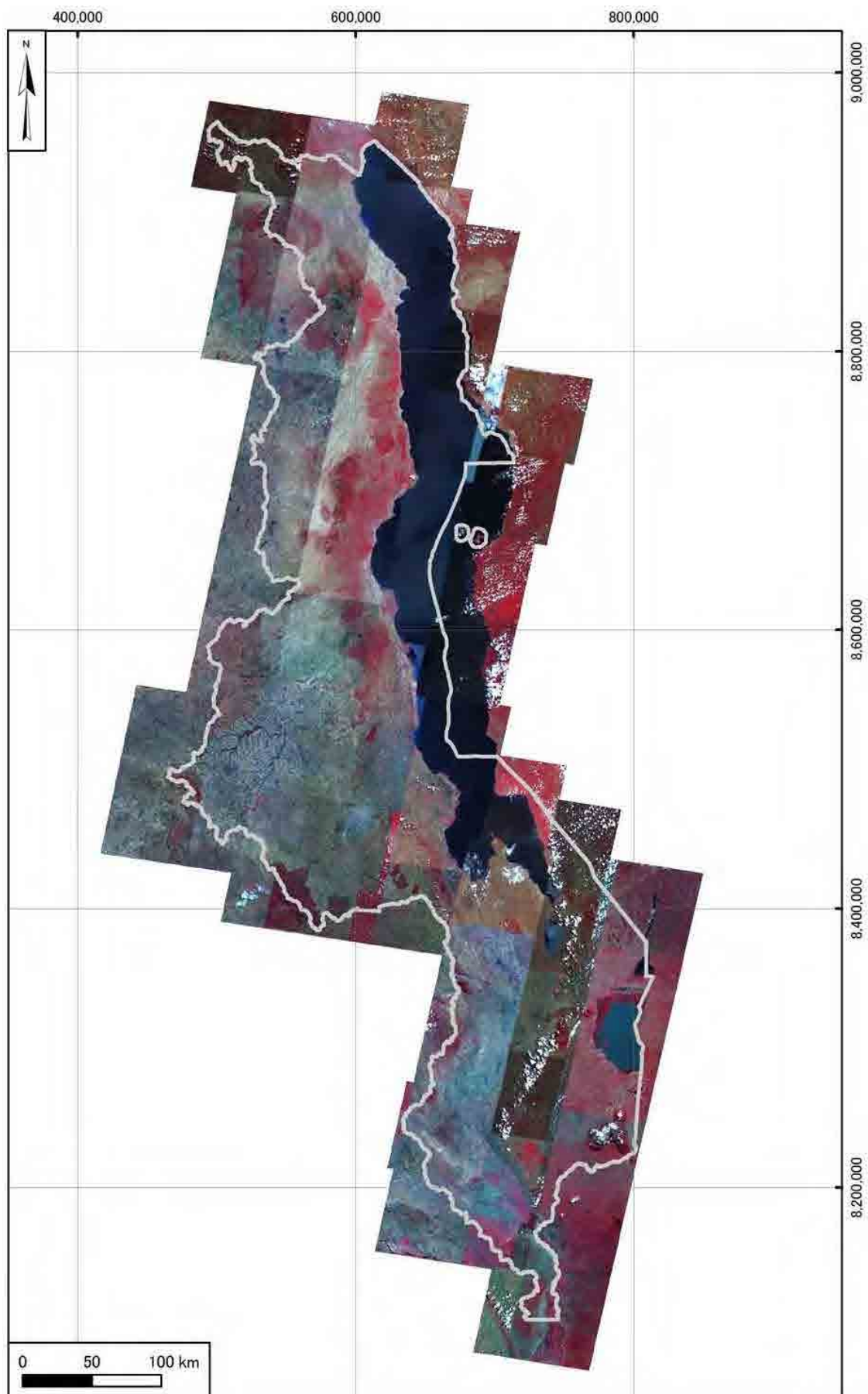


図 6.4 マラウイ全域の ASTER ブラウズ画像

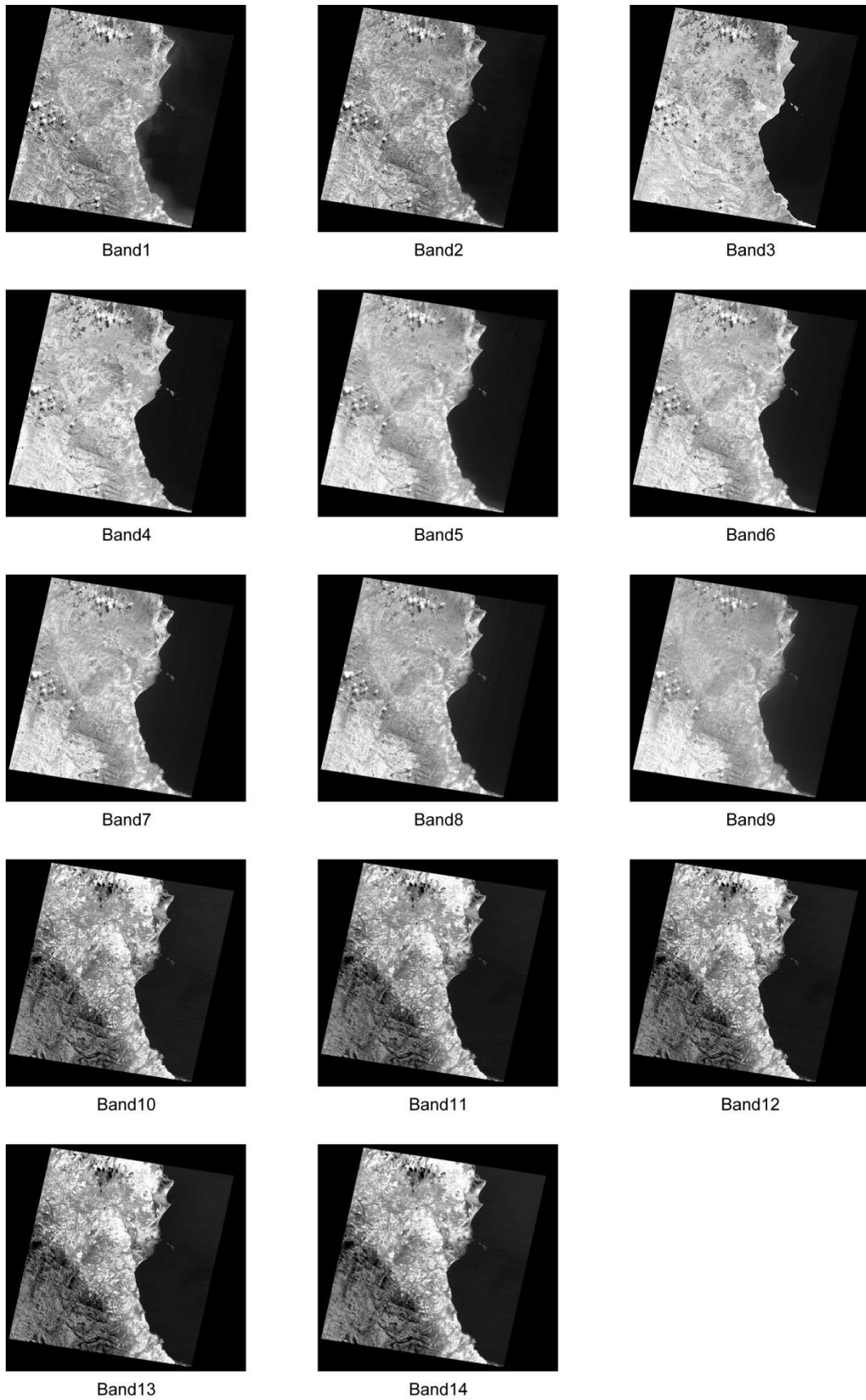


図 6.5 ASTER データの全バンド画像



図 6.6 ASTER バンド合成画像 (RGB=B3,B2,B1)

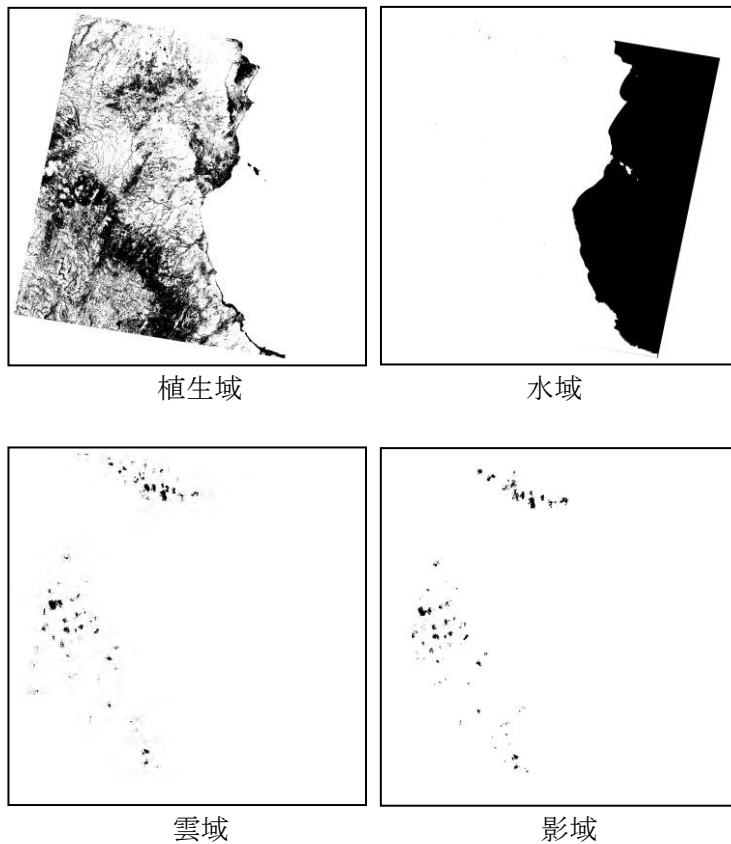


図 6.7 ASTER マスクデータ (植生域, 水域, 雲域, 影域)

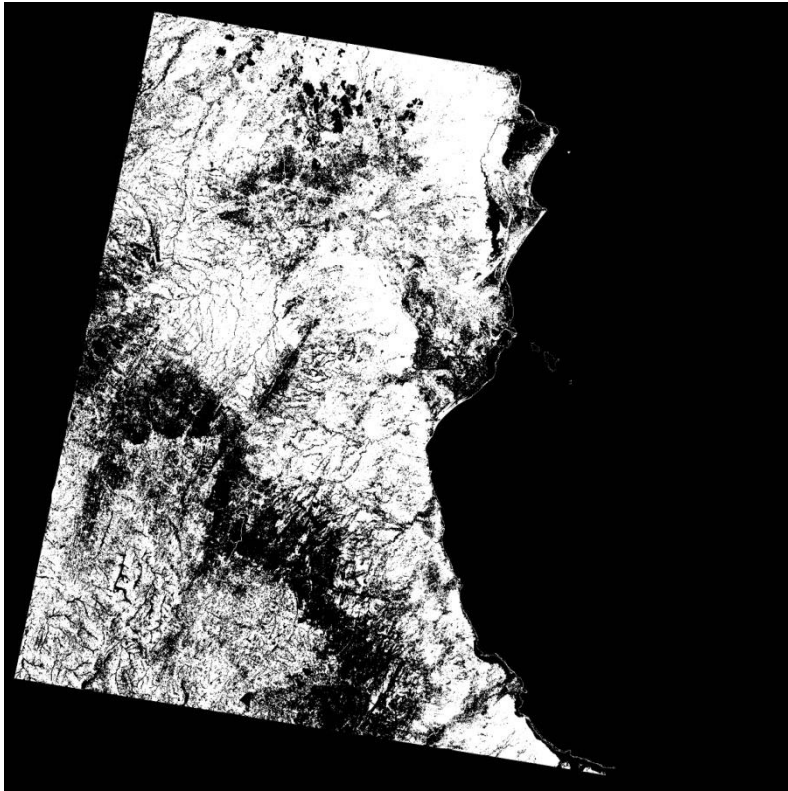


図 6.8 ASTER 統合マスクデータ

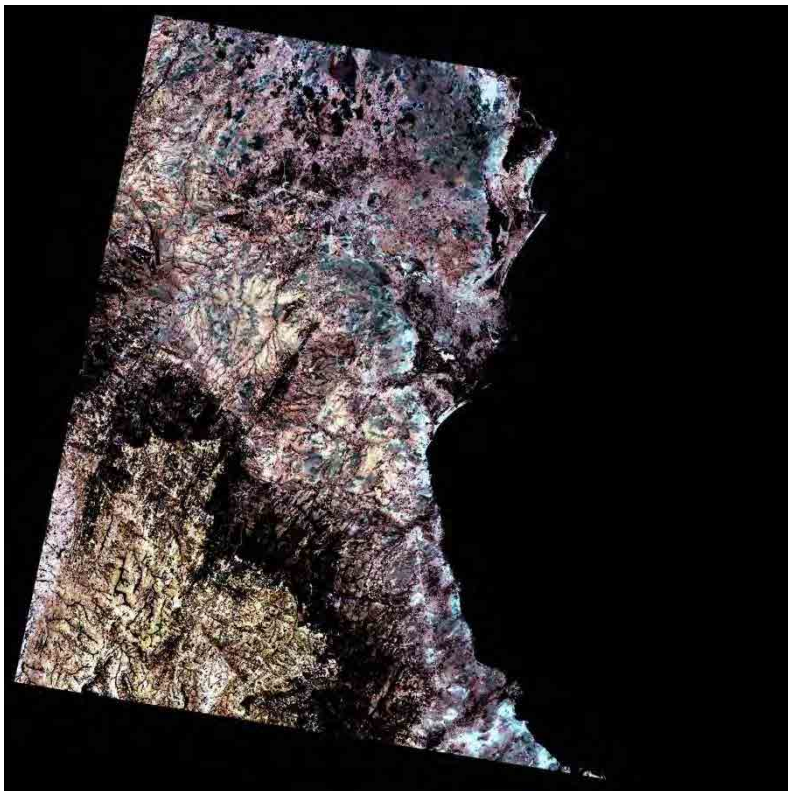


図 6.9 ASTER VNIR バンド合成画像 (RGB=B3,B2,B1)

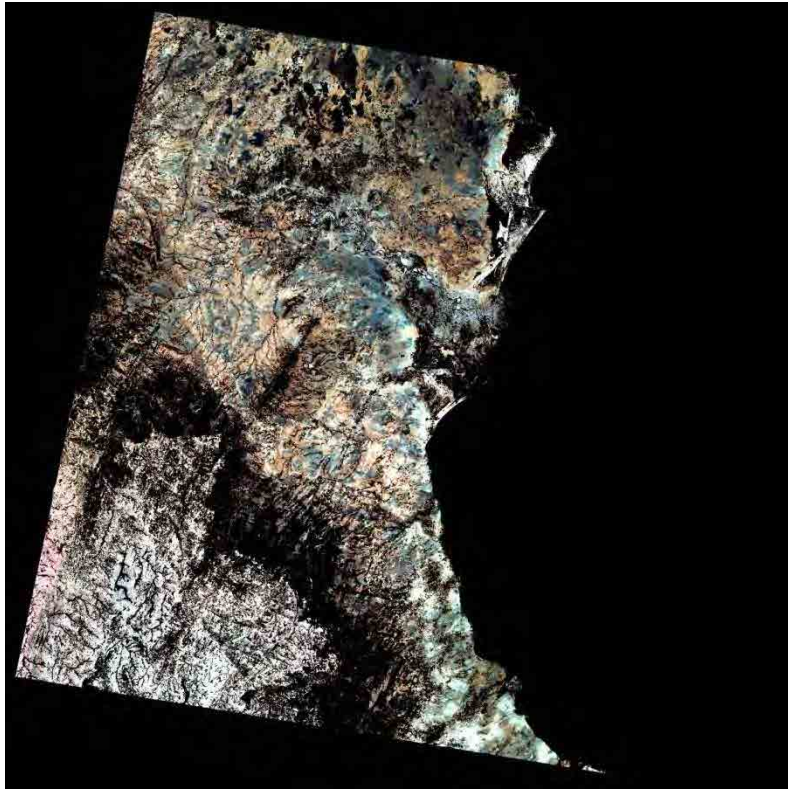


図 6.10 ASTER SWIR バンド合成画像 (RGB=B4,B6,B8)

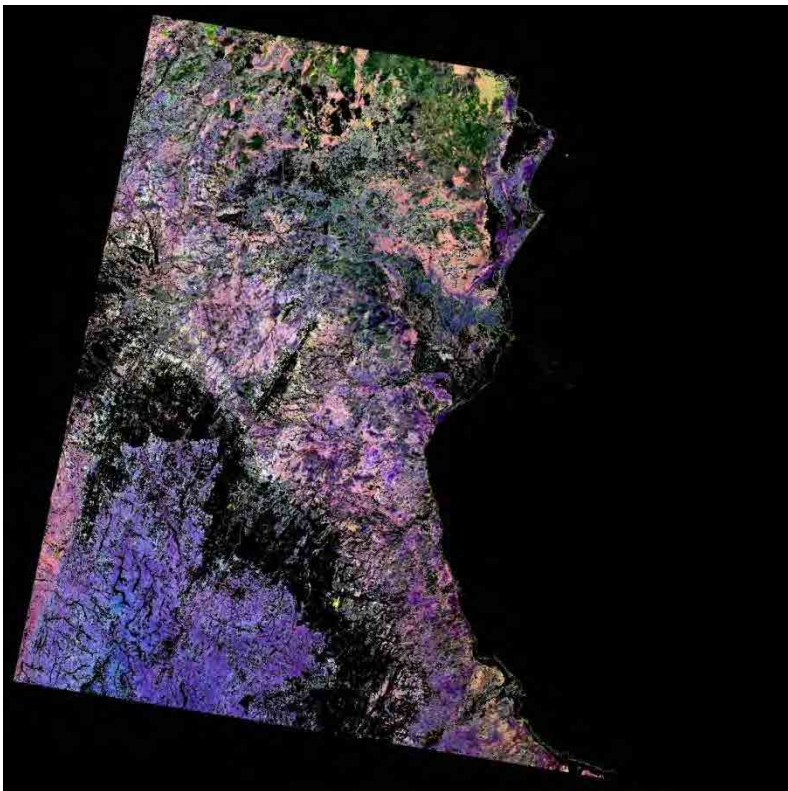


図 6.11 ASTER 比演算処理画像 (RGB=B4/B8,B3/B8,B3/B1)



図 6.12 ASTER TIR バンド合成画像 (RGB=B10,B12,B14)

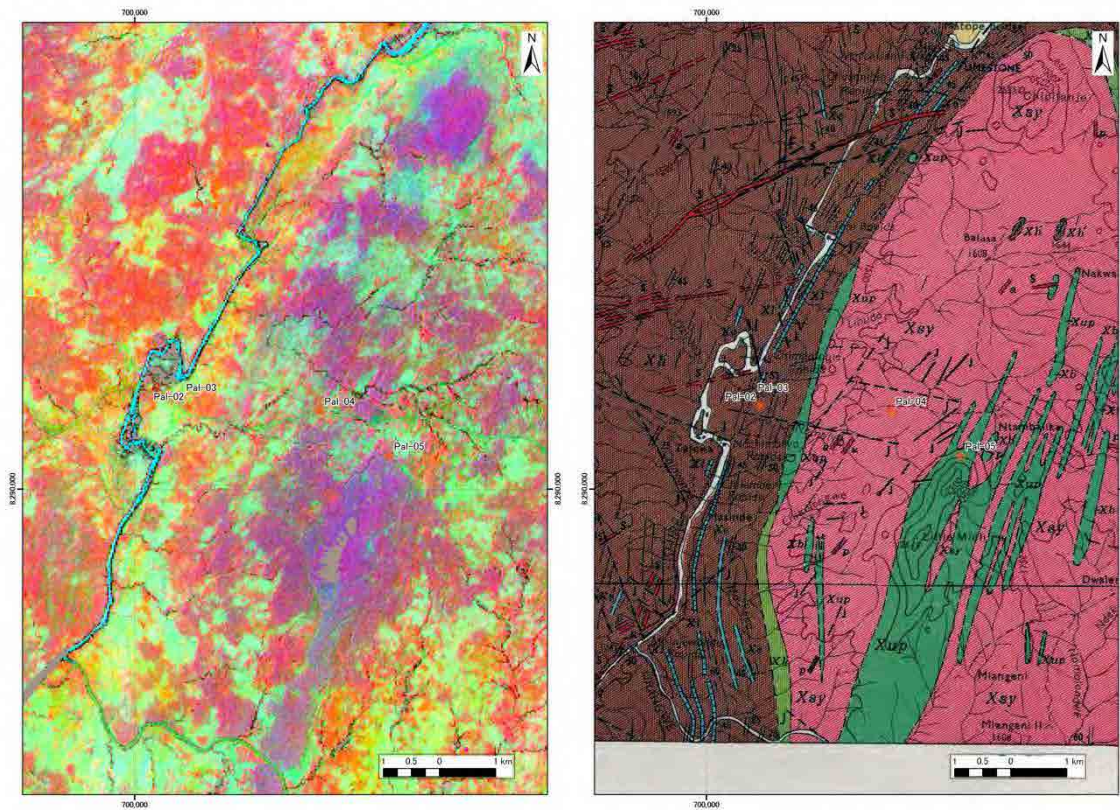


図 6.13 ASTER 主成分分析画像 (RGB=PCA-B2,B4,B6) と地質図

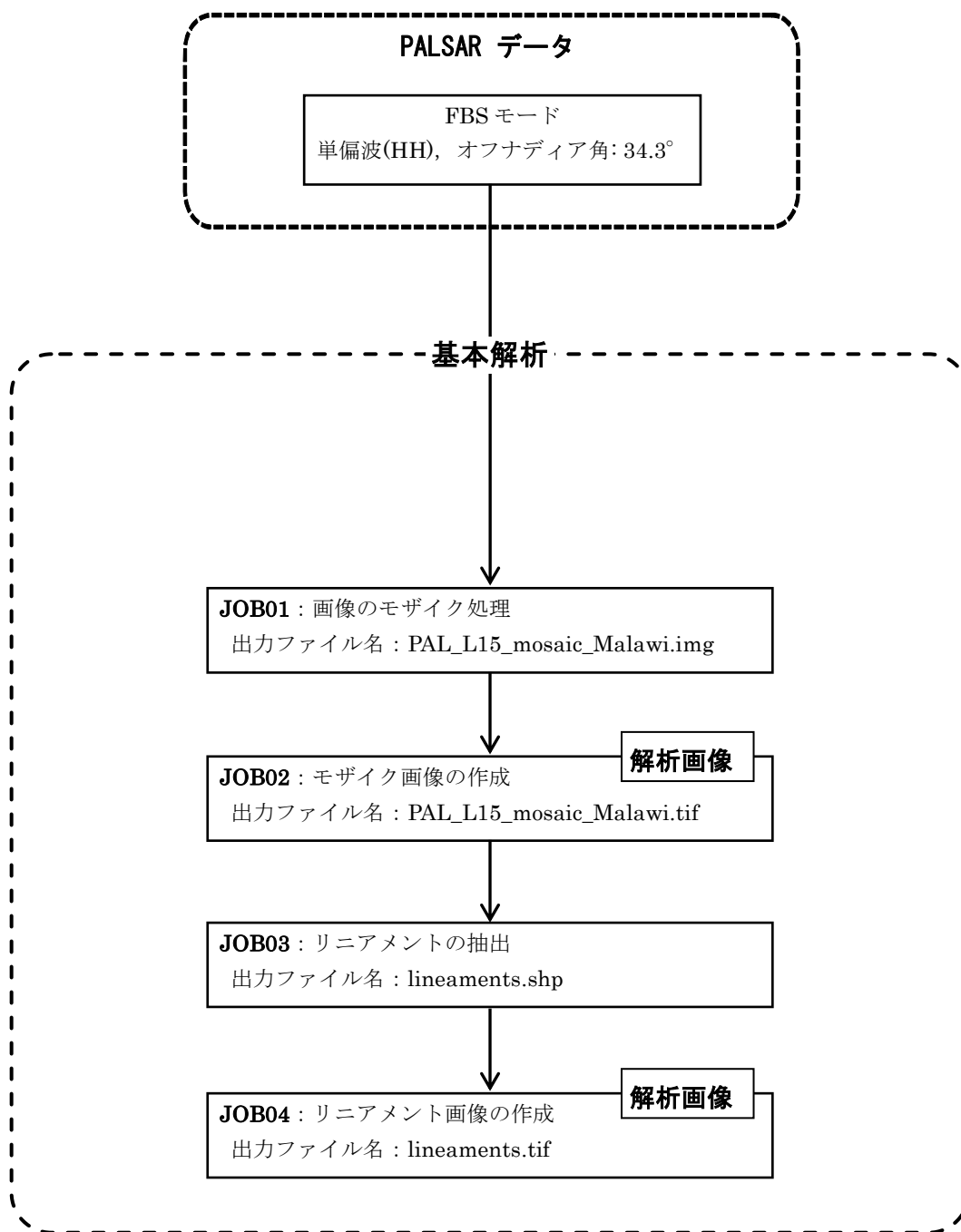


図 6.14 PALSAR データの処理フロー

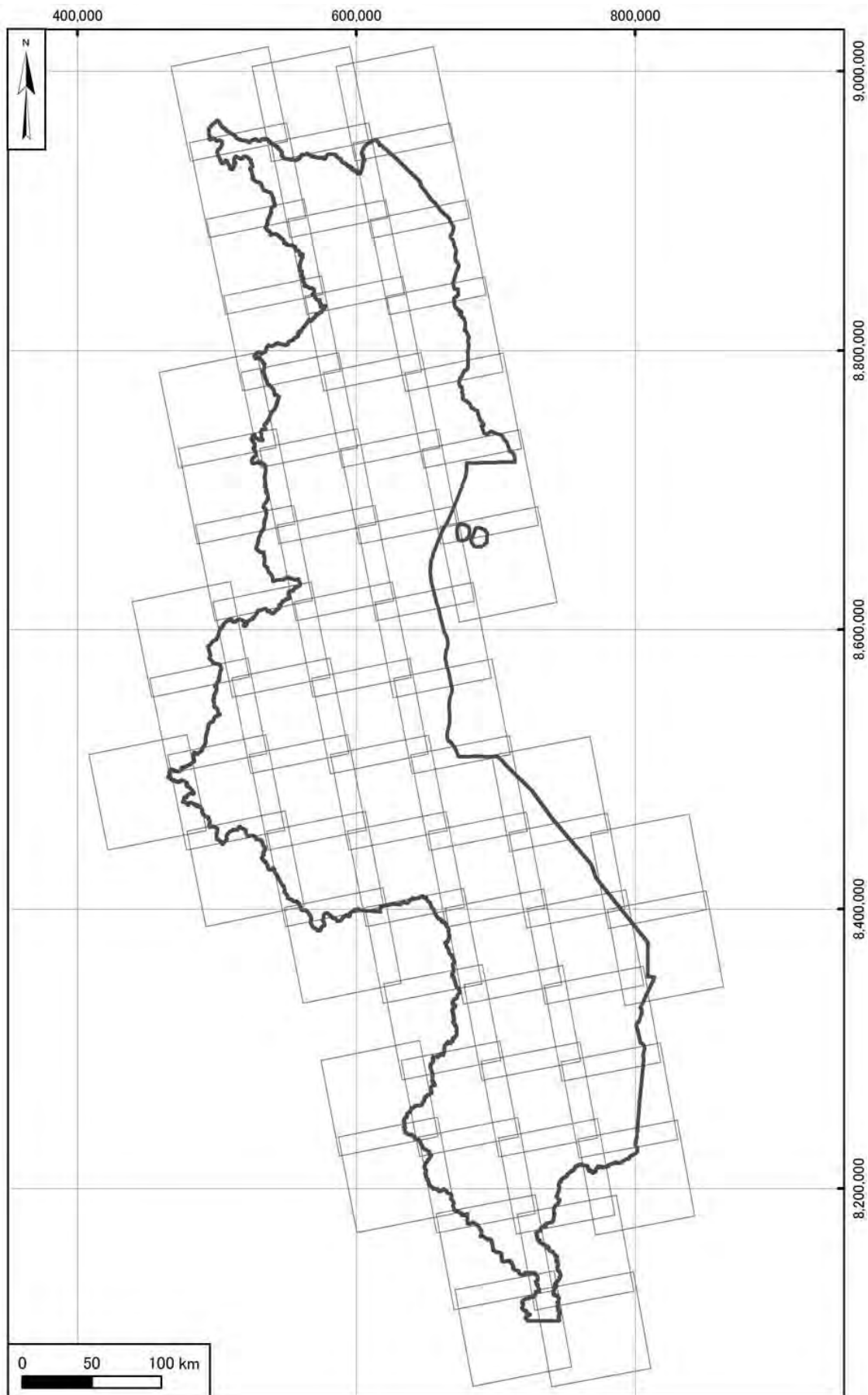


図 6.15 PALSAR データ位置図(全 64 シーン)

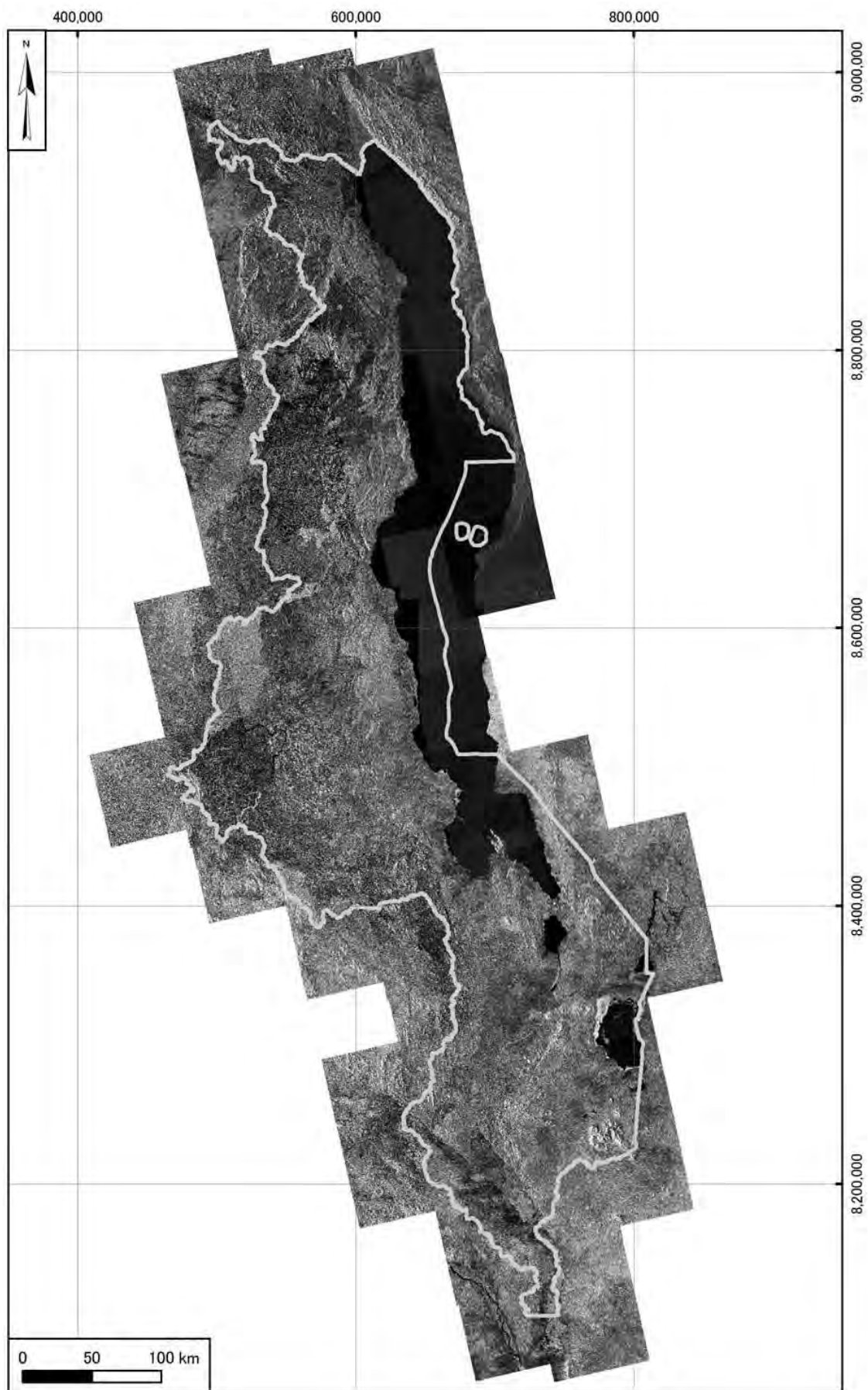


図 6.16 マラウイ全域の PALSAR モザイク画像

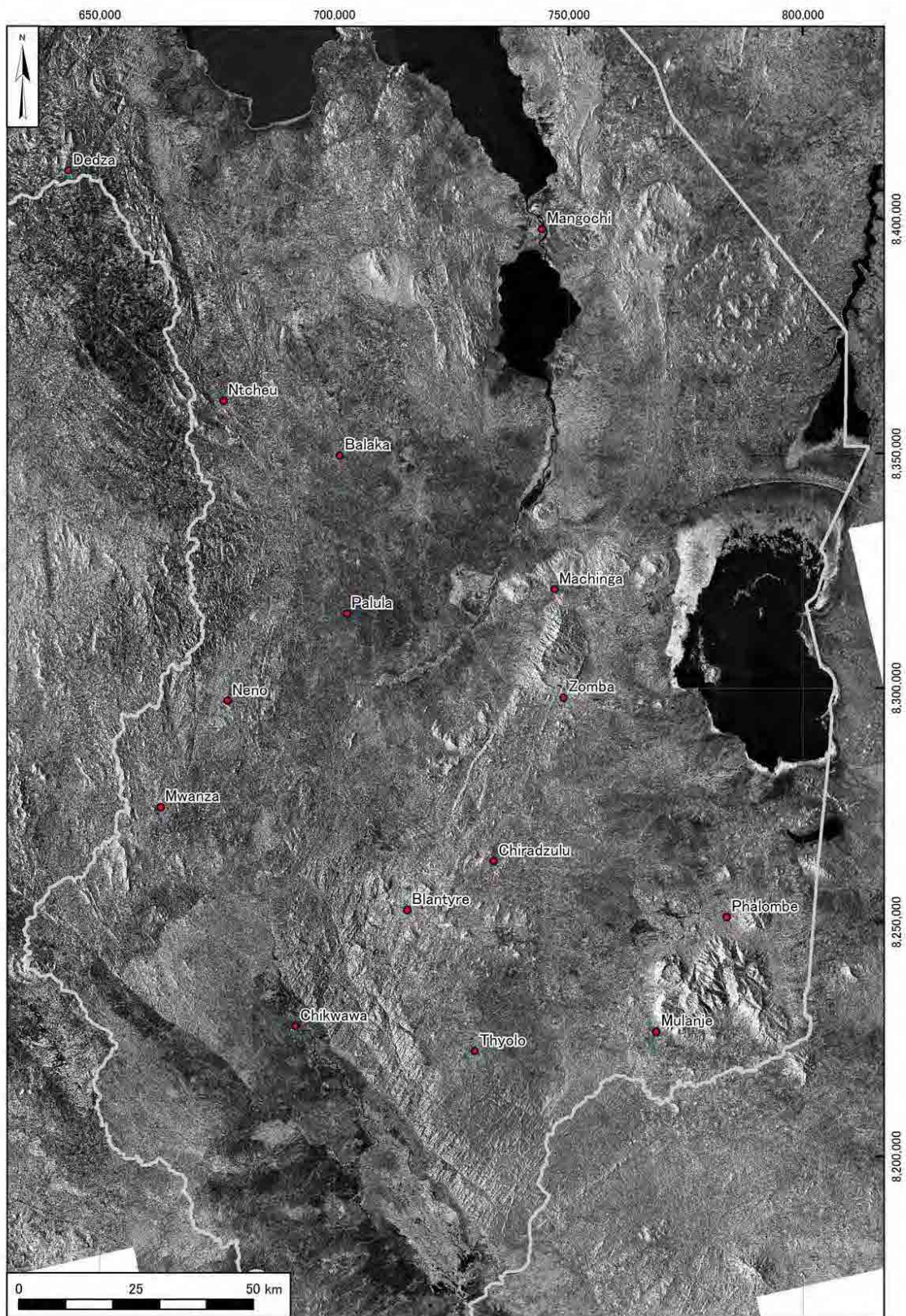


図 6.17 南部地域の PALSAR モザイク画像

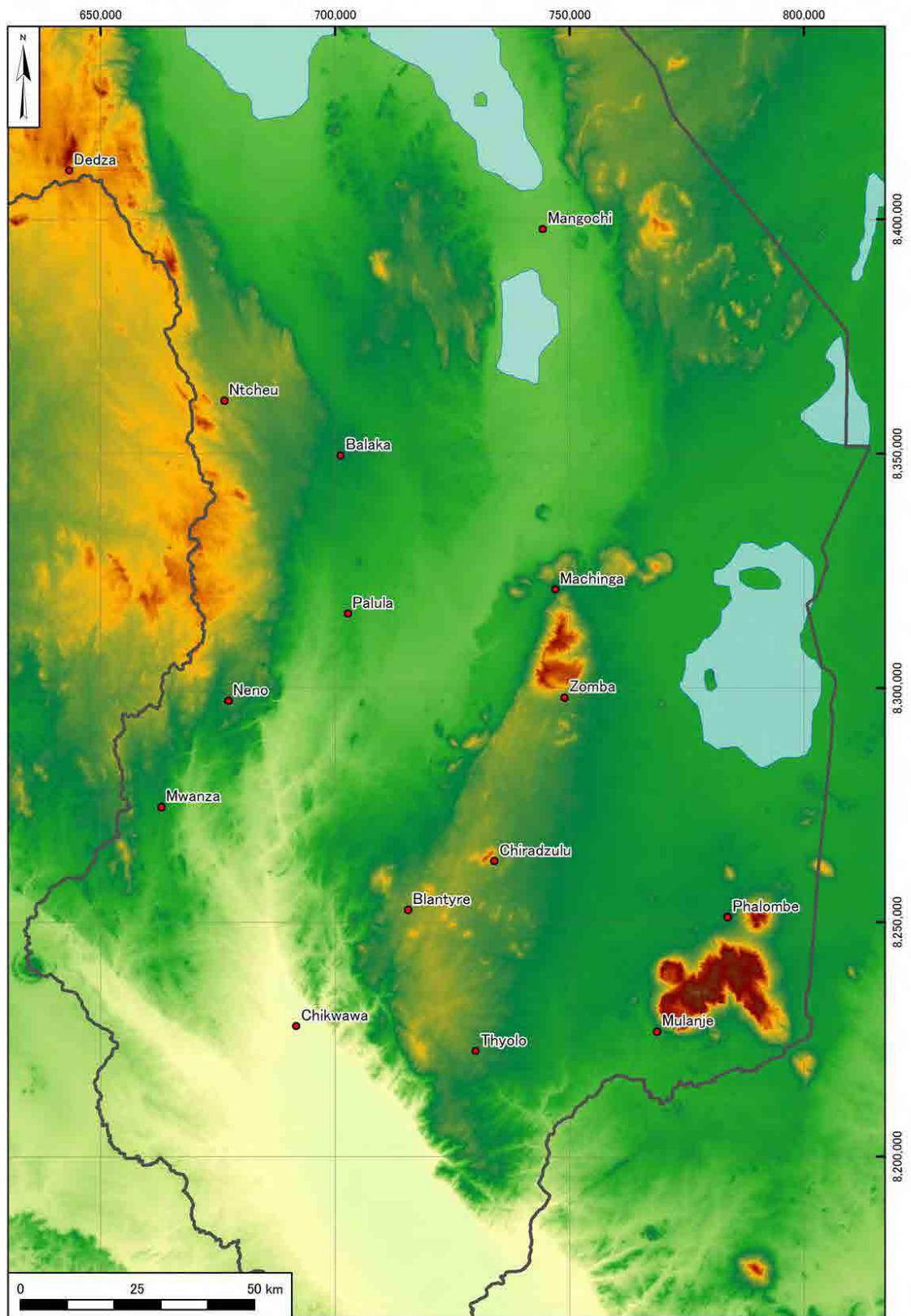


図 6.18 南部地域の ASTER G-DEM 画像

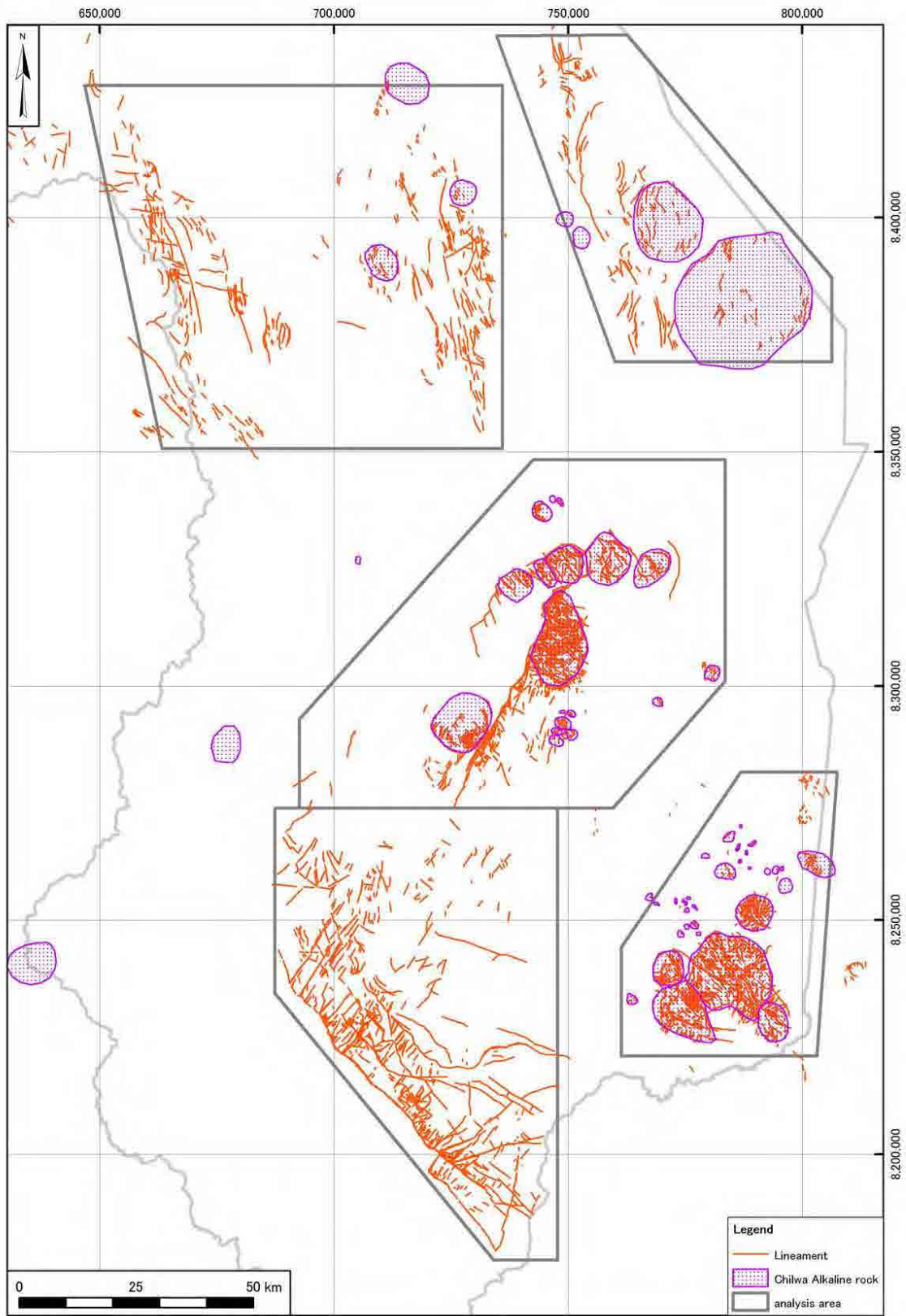


図 6.19 南部地域のリニアメント図

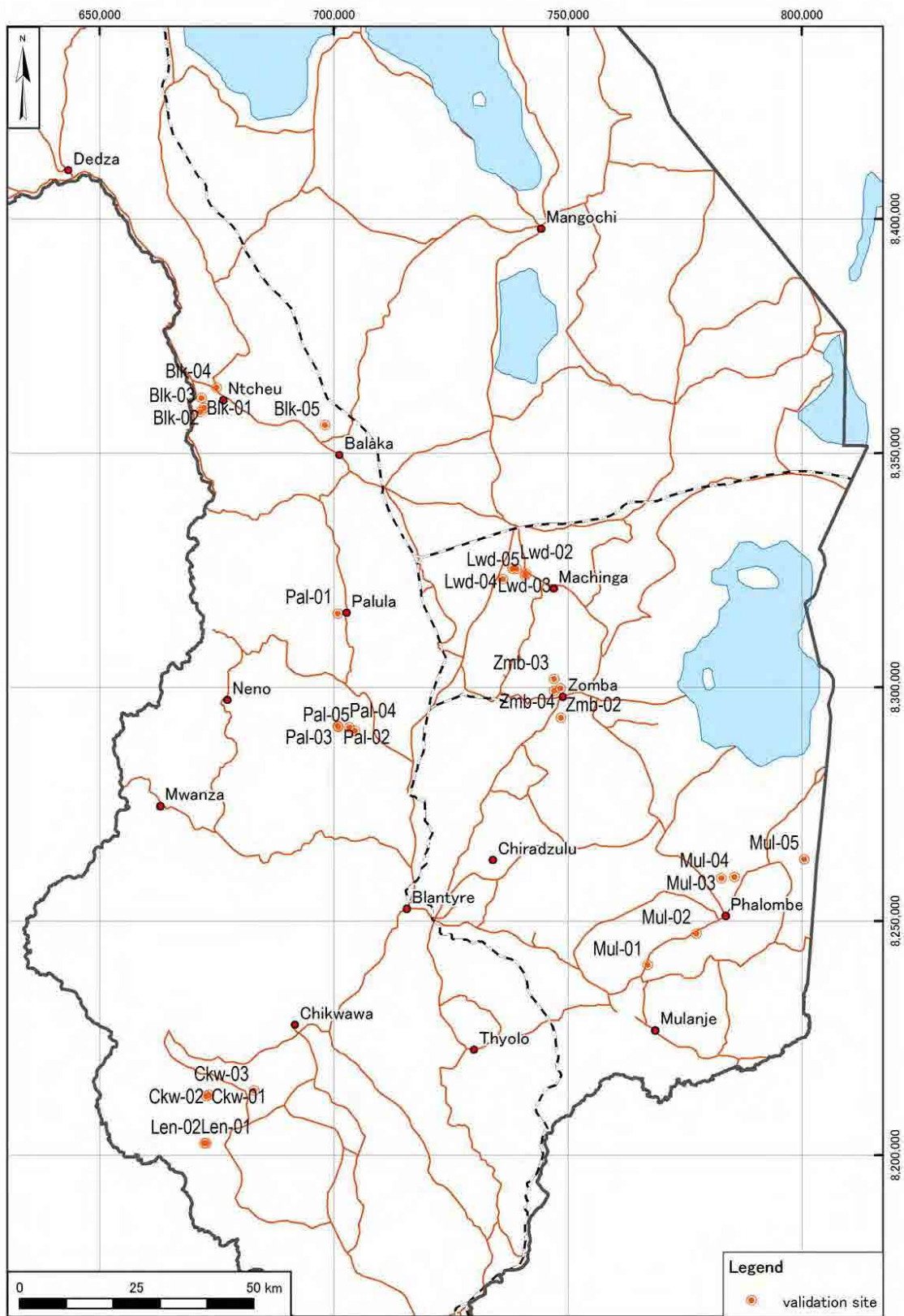


図 6.20 衛星データの検証調査の位置図


Site No.: Blk-03	Date: 5 th November 2012
Place: west of Ntcheu	
UTM-easting: 671,514	Planned UTM-E: 671,803
UTM-northing: 8,358,811	Planned UTM-N: 8,358,642
Geology: Xt	
Rock name: Plagioclase-granulite.	Color of ASTER images
	-B3,2,1: dark gray
Minerals: Almandine, magnetite, plagioclase, Biotite.	-B4,6,8: dark violet
	-B4/8,3/8,3/1: light gray
	-B13,12,10: dark gray
Geological structure: Trending WNW.	-Remarks:
	Vegetation: Scanty to moderate.
Sample no.: Blk-03	
Photo	
	

図 6.22 検証調査の記載シート例



Bik01



Pal02



Lwd02



Zmb01



Zmb03



Ckw03



Len01



Mul01

図 6.23 衛星データの検証調査地域の写真

7. GIS データ作成

7.1 地質図の GIS データ作成

マラウイ全土を網羅する全 40 枚の 10 万分の 1 地質図を対象として GIS データ作成（デジタル化）を行った（表 7.1, 図 7.2）。10 万分の 1 地質図はマラウイ独立以前の 1957 年から発行され始め、1984 年に全国の同地質図が整備された。

地質図の GIS データ作成では供与機材である ESRI 社の ArcGIS Ver.10.0 を使用し、OJT による技術移転を行った。全 40 枚の地質図のうち半数の 20 枚は C/P による OJT の一環として GIS 化され、残りの 20 枚は調査団による国内作業として GIS 化された。地質図の GIS データ作成は、既存地質図の取り込み、ArcCatalog にて前作業、ArcMap にてシェープファイル作成、ArcMap にてマップファイル作成の 4 段階に大きく区分される（図 7.1）。この一連の作業を OJT として実施した。

7.1.1 既存地質図の取り込み

既存地質図は印刷物であるため、スキャニングによってラスターデータとして ArcGIS に取り込む必要がある。既存地質図の取り込みは GCP（地上基準点）の設定、既存地質図のスキャン、位置情報付与（ジオリファレンス）の 3 段階の作業からなる。

・Job01：GCP（地上基準点）の設定

紙図面の GIS データ化には、図面上に多点の位置座標データが存在することが一般的に必要である。マラウイのほとんどの 10 万分の 1 地質図は図面外周部が緯経線で境されており（図 7.2）、図外周には GCP となる点が多数存在する。しかし、図面内部には GCP となる地点が存在しないことが多いため、適切な緯経線の交点を GCP として地質図に記入した（図 7.5）。地質図の面積や形状により異なるが、1 枚の地質図面に 5～10 点の GCP を配置した。

・Job02：既存地質図のスキャン

GCP を記入した地質図を供与機材の A0 判カラープリンタ・スキャナにてスキャンした。スキャンの解像度は 300 dpi、保存ファイル形式は JPEG である。スキャンされた地質図の画像データは外付けハードディスク内の所定のフォルダに自動的に保存される設定とした。自動的に保存されるスキャンデータのファイル名は地質図と関連のない連番となるため、PC モニタ上で各々の地質図画像を確認して、ファイル名を各地質図の名称に変更した。このファイルは、Geologic_Map100k フォルダ内の Scan_Data フォルダ内に作成された各地質図の略称名（表 7.1）フォルダ内に保存した。

・Job03：位置情報付与（ジオリファレンス）

ArcGIS の ArcMap ファイルにスキャンした地質図データを読み込んで以下のジオリファレンスを行った。ArcMap の Georeferencing ツールを使用して、地質図の画像データ上の GCP に各々の座標値（緯度、経度）を入力し、座標変換を行い、地理座標系が与え

られた GeoTIFF ファイルを作成し、別のフォルダ (Geologic_Map100k フォルダ内の Geotiff フォルダ) に保存した。

マラウイ南部の発行年が古い地質図 4 枚 (“The Middle Shire Area”, “The Tambani-Salambidwe Area”, “Chikwawa and Chiromo Sheet1”, “Chikwawa and Chiromo Sheet2”) に使用されている地形図は古く、隣接する地質図との間で地形や水系にずれが生じていることが判明した。隣接する新しい地質図の地形情報が正しいことが既存データから確認されたため、これらの古い 4 枚の地質図の位置を東に 1,880m 平行移動させることで、地形の整合性を保った。また、マラウイ最南端の地質図 “The Port Herald” では、この平行移動のみでは地質図に描画された国境線が現状の国境線より南方に位置するため、現在の地形図と対比可能な以下の 4 点を GCP として使用して、独自にジオリファレンスを行った。

地点 (GCP)	南緯 (10 進度)	東経 (10 進度)
マラウイ国境南東端	17.126134	35.295488
マラウイ国境南西端	17.128096	35.097519
Nyanthana 南方河川屈曲点	16.607728	35.076539
Chiromo 西方鉄道渡河地点	16.552201	35.145444

位置情報を付与された GeoTIFF ファイルについて地質図の画角部分以外を非表示とし、地質図全 40 枚を ArcMap に取り込んだマラウイ全体の地質図を図 7.3 に示す。この画角部分以外を非表示とした画像データは Geologic_Map100k フォルダ内の Geotiff_Subset フォルダに保存した。

7.1.2 前作業

地質図の GIS データ作成 (デジタル化) においては、取り込んだ画像データ (ラスターデータ) を元にベクターデータを作成する必要がある。ベクターデータはポイント、ポリライン、ポリゴンの 3 種類からなる。ArcGIS を使用した地質図 GIS データ作成では、地層分布はポリゴン、断層等線構造はポリラインのシェープファイルとして作成することになる。

シェープファイル作成 (デジタルトレース) の前段階の作業として、ArcGIS の ArcCatalog を使用して、データを持たない空のファイルの作成を行った。

・ Job04 : ArcCatalog にて前作業

ArcCatalog において、地層分布ポリゴンを保存するためのポリゴンシェープファイルおよび地質構造ポリラインを保存するためのポリラインシェープファイルを各 1 ファイルあらかじめ作成した。各シェープファイルの座標系は UTM zone36S WGS1984 に設定した。各シェープファイルの属性データに、後の作業で必要となる Geo_ID フィールドを作成した。

フィールドを追加したポリゴンシェープファイルを、作業する地質図で必要な地層の

数だけ複写し、ファイル名は地質図で分類されている地質記号とした。同様にポリラインシェープファイルは地質図に必要な線構造の種類数だけ複写し、ファイル名は線構造名とした。

この時点で、これらのシェープファイルは空のデータファイルであり、後述のシェープファイル作成作業でデータが作成され、保存される。

7.1.3 ArcMap にてシェープファイル作成（デジタルトレース）

ArcMap を使用してシェープファイルを作成する作業は、地質図の GIS データ作成において中核をなす作業であり、最も時間と技術を要する作業である。作業は下記 Job05～07 の 3 段階に大きく区分される。Job06 と Job07 は膨大な作業量になると同時に、作成される GIS データの精度と品質に大きく影響する。データの精度と品質を向上させようとする、ひとつひとつの作業に長時間を要する傾向がある。一方、逆に作業時間を単純に削減しようとする、精度や品質が低下する傾向がある。一般的には、これらの作業には効率と精度の両立が求められる。

下記に示す手順で作成されたマラウイ全域の地質および線構造シェープファイルを図 7.4 に示す。

・ Job05 : ArcMap に GoeTIFF ファイルと各シェープファイルの読み込み

ArcMap 新規ファイルを作成し、座標系を UTM zone36S WGS1984 に設定する。Job03 で作成した地質図の GeoTIFF ファイル、Job04 にて作成した地層分布ポリゴンシェープファイル、線構造ポリラインシェープファイルを読み込む（データ追加）。

GeoTIFF 地質図データは最下層のレイヤーとし、線構造ポリラインシェープファイルを最上層のレイヤーとする。中間層レイヤーとなる地層分布ポリゴンシェープファイルは、ひとまとめのグループレイヤーとした。

・ Job06 : 地層分布のデジタル化

地層分布ポリゴンシェープファイルに対応する地層の各境界をペンタブレットまたはマウスを使用して、PC モニタ上で丹念になぞって（トレース）、ポリゴンを描画する。各ポリゴンの属性情報として、各地層の地質記号（Geo_ID）を入力する。

トレースの精度上、同じ地層境界線を 2 度トレースする必要はなく、適宜スナップ、クリップ、マージ、オートコンプリート等の効率的なツールを選択して作業した。ポリゴン描画の精度を安定させるため、描画時の画面上縮尺は 1:6,000～1:10,000 に設定した。

1 枚の地質図の全地層についてポリゴンシェープファイルを作成した後、これらのシェープファイルを統合（マージ）した。統合したシェープファイルを使用して各ポリゴンの重複や間隙が無いことを確認し、必要に応じて修正し、Geology.shp の名称で所定（地質図略名）のフォルダに保存した。

・ Job07 : 断層等線構造のデジタル化

線構造ポリラインシェープファイルに対応する線構造の各ラインをペンタブレットまたはマウスを使用して、PC モニタ上で丹念になぞって（トレース）、ポリラインを描画す

る。各ポリラインの属性情報として、各線構造の名称を入力する。断層と地質境界が一致している箇所では、GIS データにおいても一致するようスナップツール等を使用して両者を一致させた。

1 枚の地質図の全線構造についてポリラインシェープファイルを作成した後、これらのポリラインシェープファイルを統合（マージ）して、**Fault_Joint.shp** の名称で所定（地質図略名）のフォルダに保存した。

7.1.4 ArcMap にてマップファイル作成

ArcMap を使用してマップファイルを作成する作業は、**Job06** と **Job07** で作成したシェープファイルを利用して、地質図面を作成する作業である。作業は地質図の色や線種を設定するレイヤーファイルの作成（**Job08**）と地質図面に必要な凡例や標尺などを設定するマップファイルの作成（**Job09**）に区分される。下記の手順で作成された地質図面（印刷レイアウト）の例を図 7.6 に示す。

・Job08：レイヤーファイルの作成

ArcMap および Microsoft の Excel を使用して、ポリゴンやポリラインの色および線種等の設定を行い、設定をレイヤーファイルとして保存した。

地質記号と岩相の対比表を Microsoft Excel を使用して作成し、この対比表を ArcMap にて読み込み（データ追加）、地層分布ポリゴンシェープファイルの属性データと結合（ジョイン）した。地層分布ポリゴンシェープファイルを岩相毎に色分け表示させ、各岩相の色は印刷地質図を参考に、これに類似した色を設定した。

線構造ポリラインシェープファイルも同様に構造線の種別毎に線種、太さを設定した。地質ポリゴンシェープファイルと線構造ポリラインシェープファイルを同一のグループレイヤーとし、このグループレイヤーをレイヤーファイルとして各シェープファイルと同じフォルダに保存した。

・Job09：マップファイルの作成

ArcMap のレイアウトビューを使用して、印刷用レイアウトの構成を以下の手順で行った。構成した印刷レイアウトを ArcMap ファイルとして所定（GIS_Data 内の GeologicMap100k）のフォルダに保存した。

印刷地質図を参考に用紙サイズ、方向を設定し、レイアウトビューに表示させる。Job08 で作成したレイヤーファイルを読み込み（データ追加）、縮尺を 10 万分の 1 に設定した。地質図の表示範囲を用紙の範囲内で調整した後、格子線（UTM zone36S WGS1984）を追加した。用紙範囲内の適切な余白に凡例、方位矢印、標尺を挿入し、位置などを調整した。ArcMap ファイルのドキュメントプロパティのタイトルに地質図名称を設定し、図中に挿入し位置などを調整した。地理座標、投影座標系のデータは挿入すると内容が自動的に設定される。この他に必要な情報については、テキストとして挿入し位置などを調整した。レイアウトビューに新たにデータフレームを挿入し、マップインデックスデータを読み込み（データ追加）、位置などを調整した。

7.2 地質図の GIS データ化のマニュアル作成

前述の GIS 化作業については、本プロジェクトの終了後も C/P が独力で継続的に実施していく必要があり、本プロジェクトの OJT の最終的な目標の一つである。C/P が GIS 化作業を自立的に継続するために必要な作業手順書を OJT の一環として C/P と調査団は共同で作成した。

作業手順書は 2 編の構成とし、「ArcGIS によるデジタル地質図の作成手順書」および「ArcGIS によるデジタル地質図の印刷手順書」を作成した。手順書では手順書推奨の作業環境の設定を記述し、PC 作業時の画面の複写図面を多用するなど、初心者が手順書を参照しながら作業できるように配慮した。両手順書の目次は以下のとおりである。GIS データ作成マニュアルの集約版を巻末資料 5 に示す。

Manual to digitize geological map	
<p>0. Set the environment for drawing</p> <ul style="list-style-type: none"> 0-1. Start 0-2. Customize toolbars 0-3. Set toolbars 0-4. Customize the scale list 0-5. Set the snapping 0-6. Set small windows of ArcMap 0-7. Set editor options 0-8. Work folders 0-9. Create empty shapefiles 0-10. Set layers <p>1. Start editing</p> <ul style="list-style-type: none"> 1-1. Start 1-2. Start editing window 1-3. Create feature window <p>2. Draw polygons</p> <ul style="list-style-type: none"> 2-1. Start 2-2. Set the position and scale 2-3. Draw polygon 2-4. Draw rectangle 2-5. Draw adjoined polygon 2-6. Save edit <p>3. Draw polylines</p> <ul style="list-style-type: none"> 3-1. Start 3-2. Draw 	<p>4. Edit polygons and polylines</p> <ul style="list-style-type: none"> 4-1. Select 4-2. Delete 4-3. Copy and paste 4-4. Edit vertex 4-5. Merge polygons in editor tool 4-6. Cut polygons 4-7. Clip polygons in editor tool <p>5. Drawing techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> 5-1. Edge of the map 5-2. Fault 5-3. Major geologic unit in the map 5-4. Out of Malawi <p>6. Unify to one shapefile</p> <ul style="list-style-type: none"> 6-1. Clip the overlapped area 6-2. Open attribute table 6-3. Add field “Geo_ID” 6-4. Field calculator 6-5. Merge in geoprocessing <p>7. Check and setup polygon</p> <ul style="list-style-type: none"> 7-1. Edge of map 7-2. Gap of polygons 7-3. Check the data of “Geo_ID”

Manual to create and print geological map

0. Set shape file for the printing

- 0-1. Set the environment for color setting
- 0-2. Show and hide the group layer
- 0-3. Create the relation table between Geo_ID and Lithology.
- 0-4. Add the relation table
- 0-5. Join the shape file and relation table
- 0-6. Set Symbology

1. Start editing

- 1-1. Change the view
- 1-2. Data Frame
- 1-3. 2 kinds of Zoom and Pan
- 1-4. Set the paper size and orientation
- 1-5. Set the Data frame size and position
- 1-6. Set the Scale of the data frame
- 1-7. Set the Grids and the data frame for the Map
- 1-8. Set the Geo_ID for each geologic unit in the Map

2. Additional parts of the Layout View

- 2-1. Legends for the Map
- 2-2. North arrow for the Map
- 2-3. Scale bar for the Map
- 2-4. Scale text for the Map
- 2-5. Title for the Map
- 2-6. Coordinate system for the Map
- 2-7. Text for the Map
- 2-8. Picture for the Map
- 2-9. Additional Data frame

3. Print out

- 3-1. Printing method
- 3-2. Save the data (Export Map)
- 3-3. Print at the big printer

4. Layer file

- 4-1. Outline of the layer file
- 4-2. Save as a layer file
- 4-3. Add a layer file

表 7.1 地質図名と略称

No.	Name of Geological Map	Short Name	Map_ID
1	The Port Herald	Port_Herald	09
2	The Middle Shire	Middle_Shire	10
3	The Lake Chilwa	L_Chilwa	12
4	The Tambani-Salamidwe	Tambani	13
5	Chikwawa and Chiromo Sheet 1	Chikwawa_N	14N
6	Chikwawa and Chiromo Sheet 2	Chikwawa_S	14S
7	Zomba	Zomba	16
8	Kirk Range-Lisungwe Valley	Kirk_Range	17
9	Shire Highlands	Shire_High	18
10	Ncheu-Balaka	Ncheu_B	19
11	Mlanje	Mlanje	21
12	Cholo	Cholo	22
13	Lilongwe South	Lilongwe_S	23
14	Muchinji-Upper Bua	Muchinji	24
15	Kasungu North West	Kasungu_NW	25N
16	Kasungu South West	Kasungu_SW	25S
17	Lilongwe-Dowa	Lilongwe_D	26
18	Ntchisi-Middle Bua	Ntchisi	27
19	Cape Maclear Peninsula and lower Bwanje Valley	C_Maclear	28
20	Dedza	Dedza	29
21	Salima_Mvera Mission	Salima_M	30
22	Dwangwa	Dwangwa	31
23	Nkhotakota	Nkhotakota	32N
24	Benga-Chia Lagoon	Benga_C	32S
25	Lake Malombe	L_Malombe	33
26	Lake Chiuta	L_Chiuta	34
27	Makanjila	Makanjila	35N
28	Mangochi	Mangochi	35S
29	South Viphya-East	S_Viphya_E	36E
30	South Viphya-West	S_Viphya_W	36W
31	Mzimba	Mzimba	37
32	Nkhata Bay North	Nkhata_N	38N
33	Nkhata Bay South	Nkhata_S	38S
34	Rumphi	Rumphi	39
35	Nyika North	Nyika_N	40N
36	Nyika-South	Nyika_S	40S
37	Uzumara North	Uzumara_N	41N
38	Uzumara South	Uzumara_S	41S
39	Karonga	Karonga	42E
40	Chipita	Chipita	42W

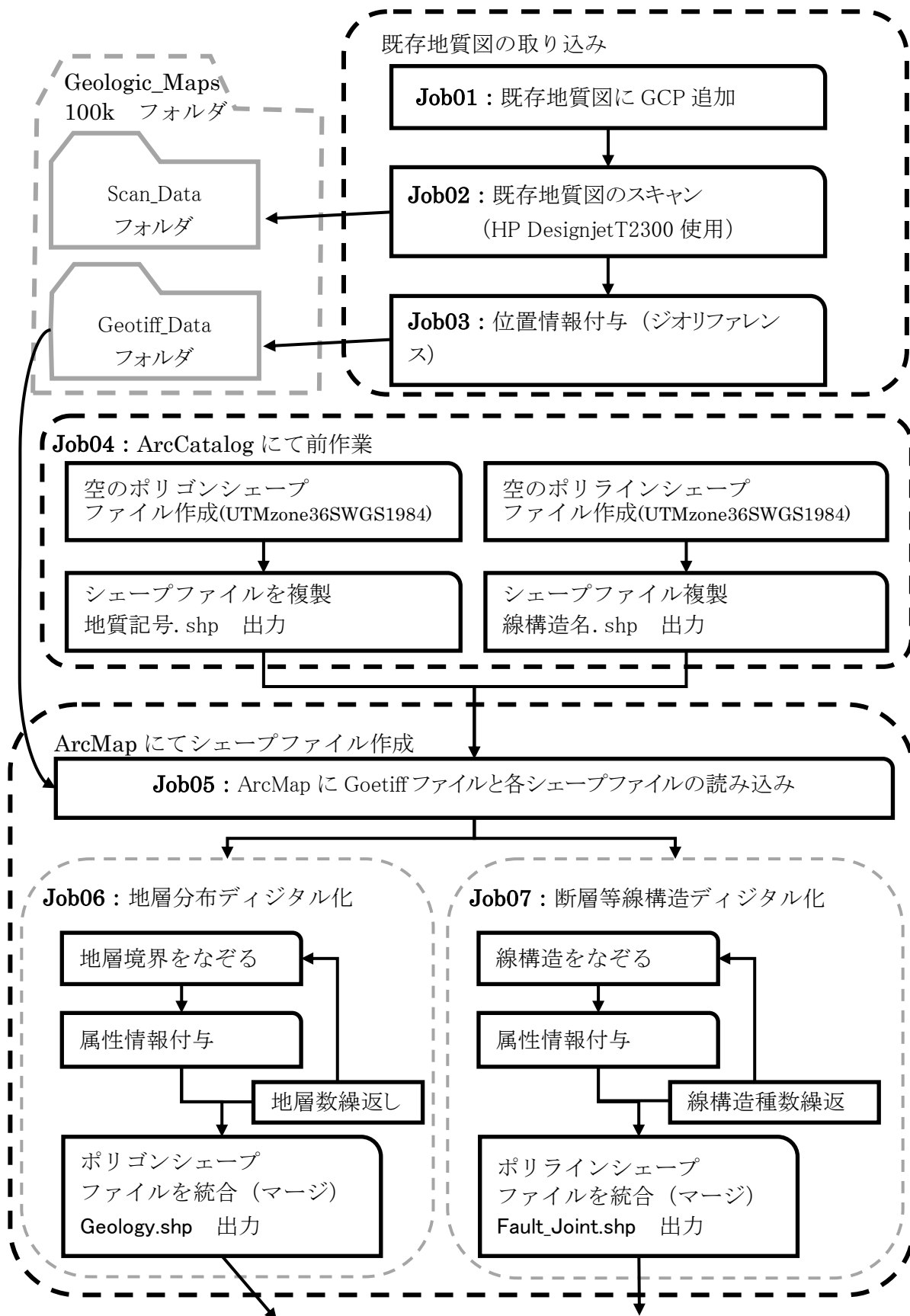


図 7.1 地質図の GIS データ化フロー(1/2)

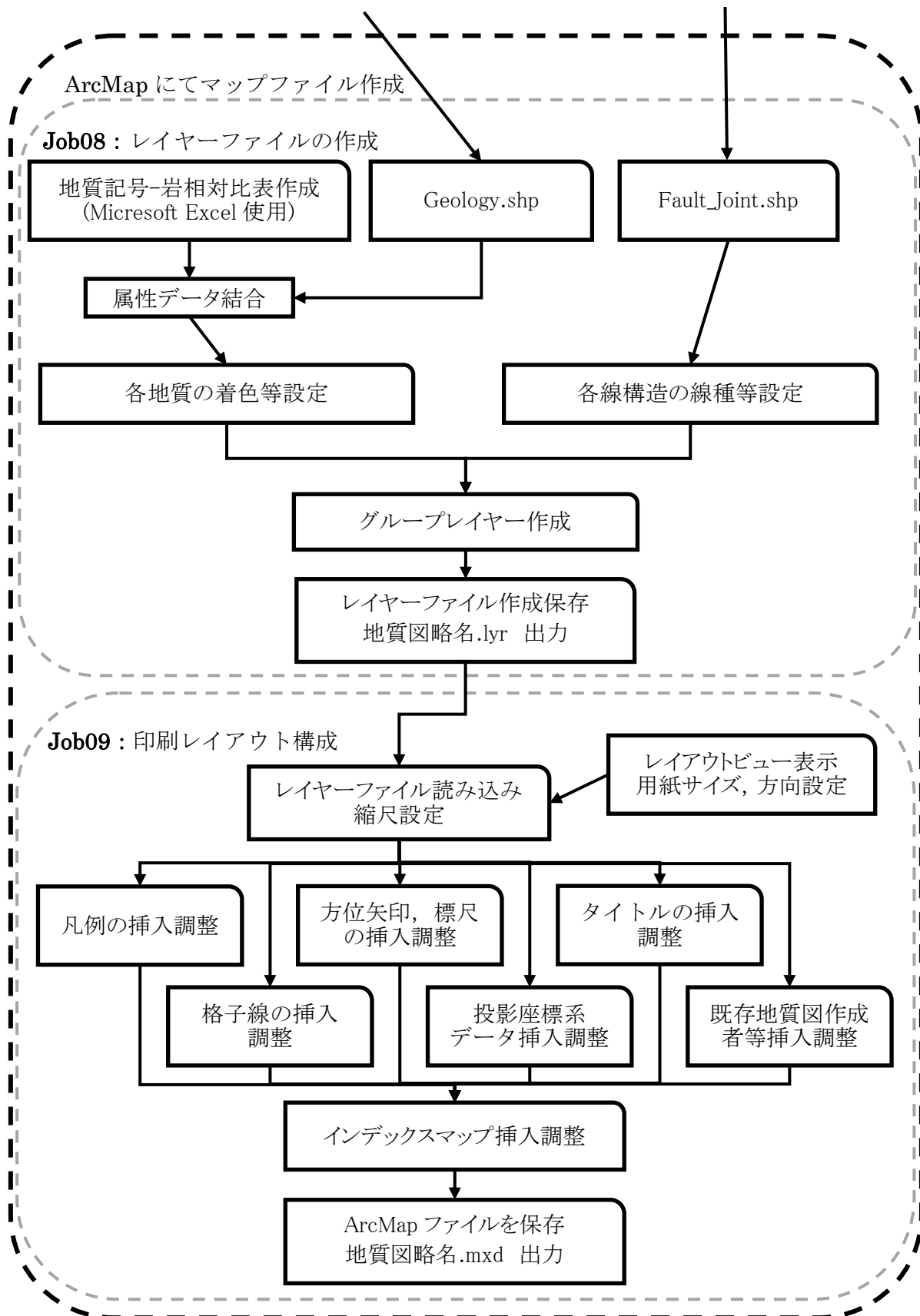


図 7.1 地質図の GIS データ化フロー(2/2)

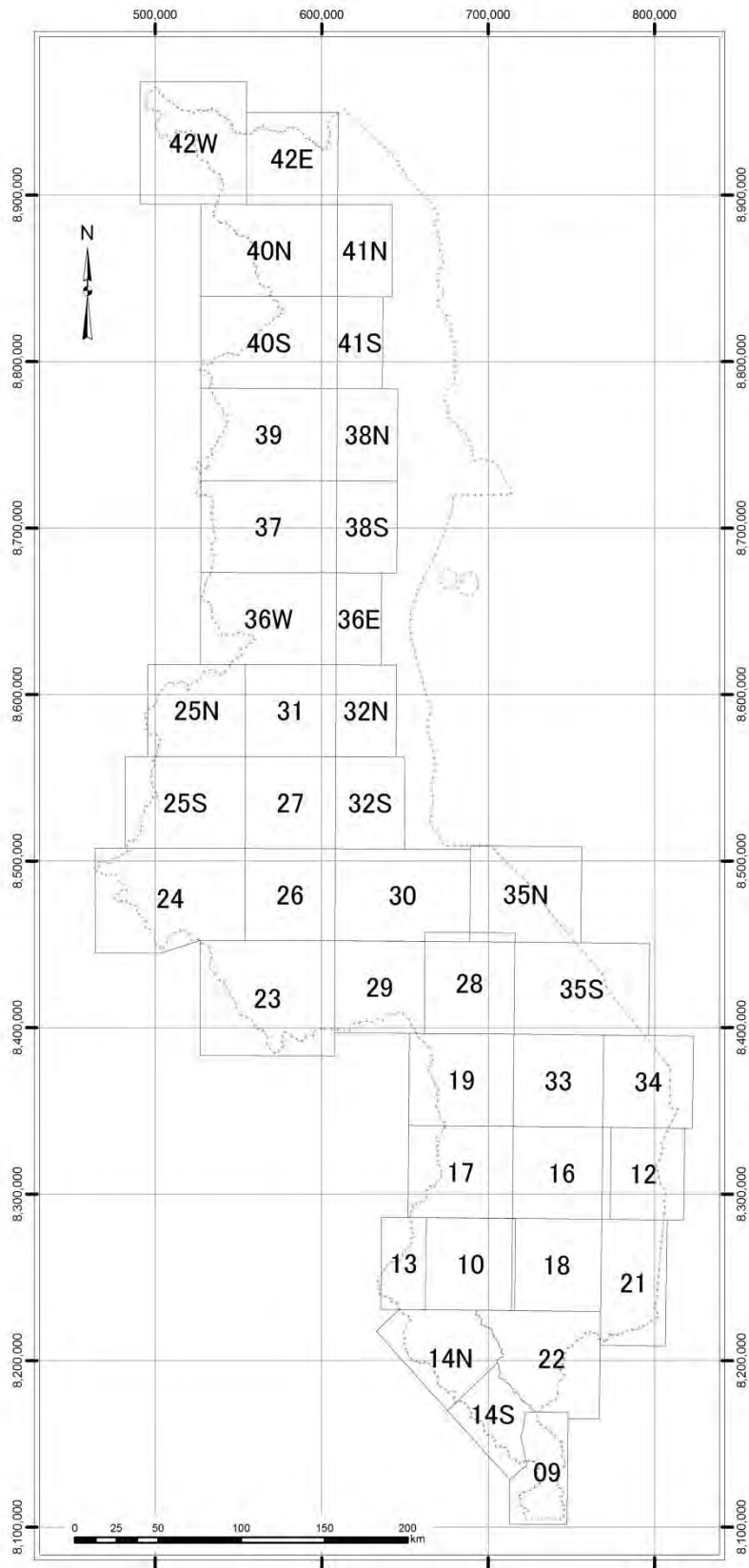


図 7.2 マラウイ全域の 10 万分の 1 地質図の位置図

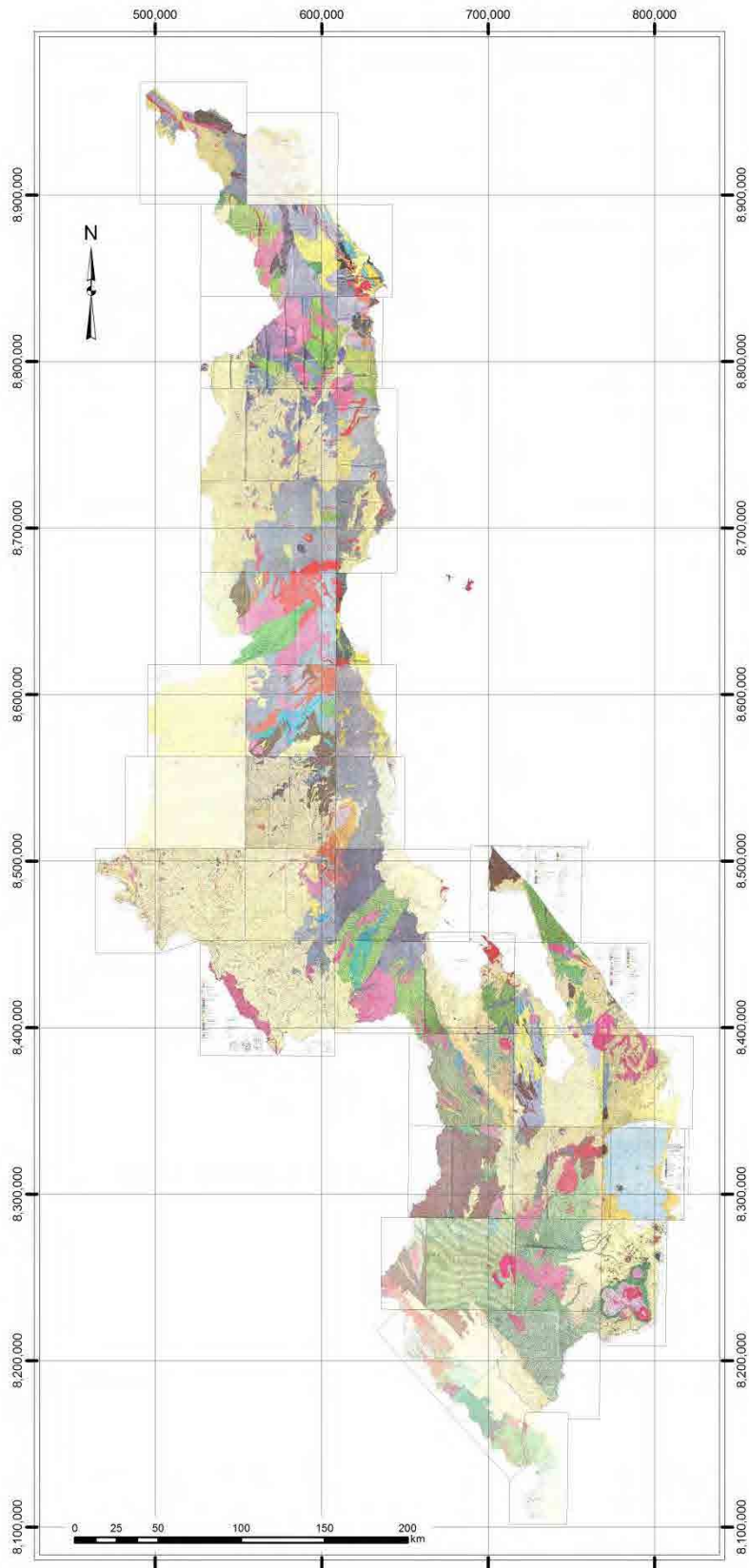


図 7.3 マラウイ全域の 10 万分の 1 地質図

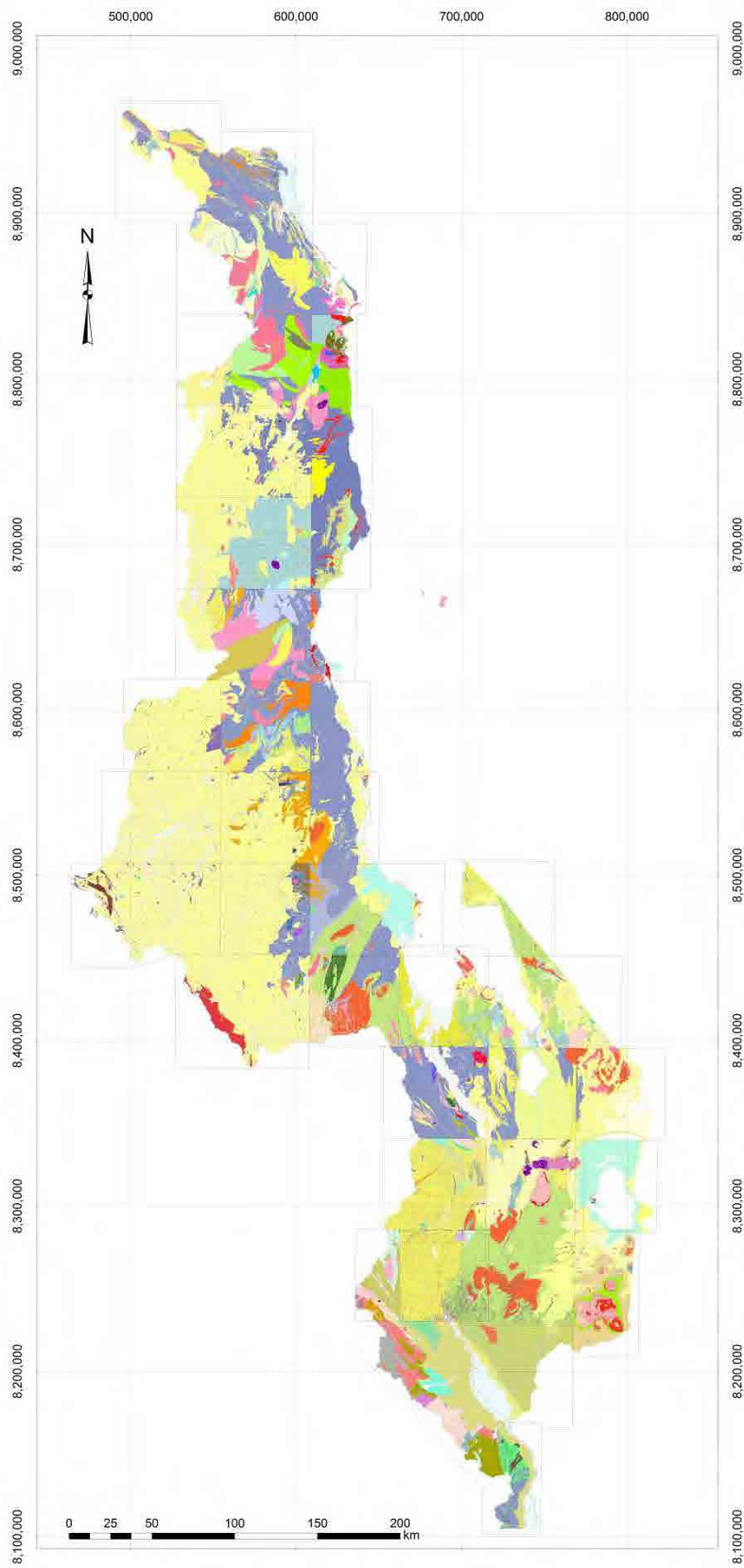
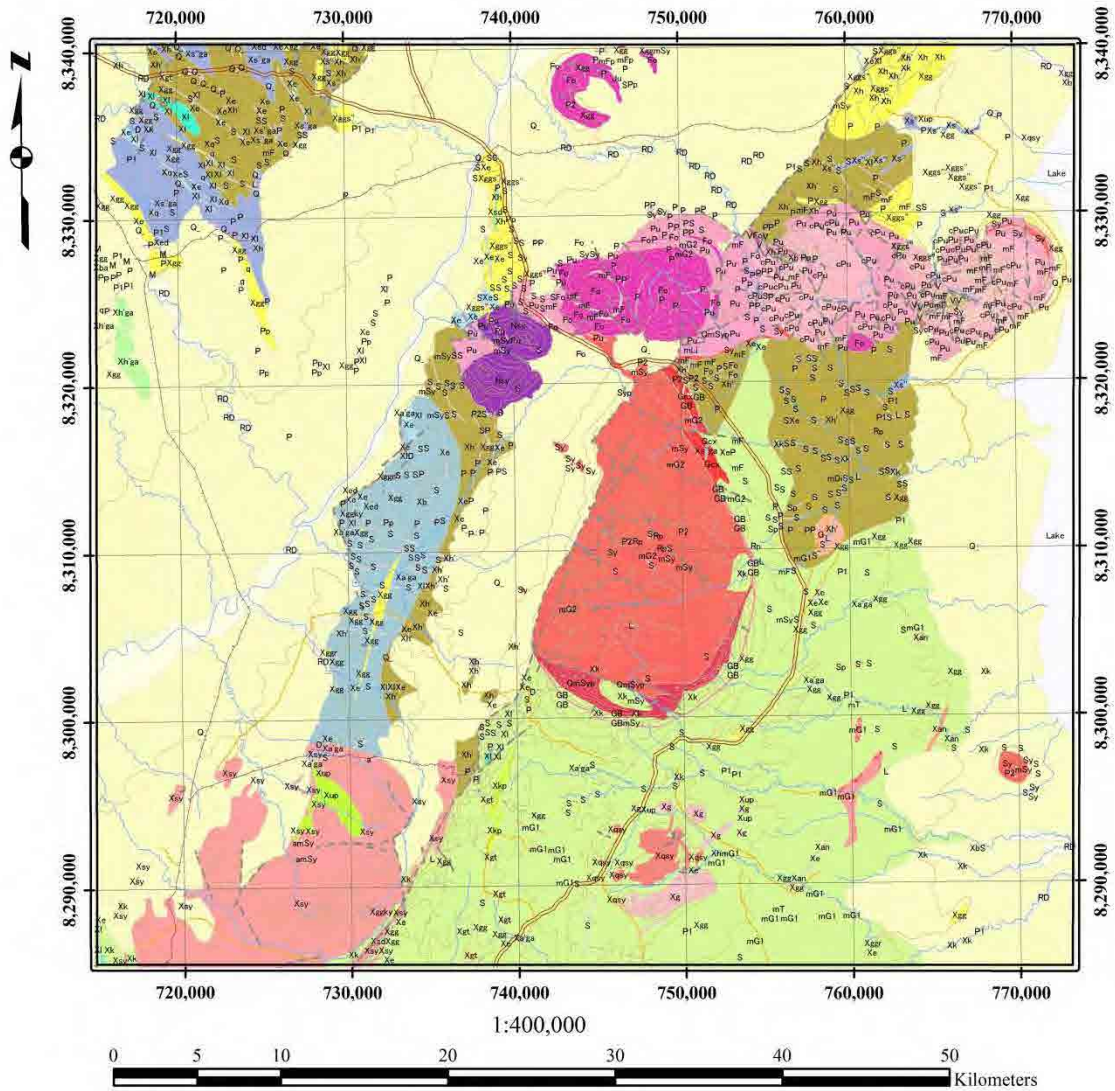


図 7.4 マラウイ全域のデジタル地質図

ZOMBA



Legend

Lake Chilwa Marshes	Porphyritic quartz - microsyenite	Metapyroxenite	Fault
River alluvium	Alkalic granitic & nepheline - syenitic pegmatites	Anorthositic gneiss	Joint
Other Surface Soils, Clay, Sand	Nepheline - syenite	Amphibolite	Railway
Arkose, conglomerate, micaceous siltstone & mudstone	Juvite	Migmatitic gneiss & granulite	Main Road
Solfvbergite	Foyaite	Marble	District Road
Porphyritic s'f'vbergite	Pulaskite	Calc - silicate gneiss & granulite	Rivers
Microsyenite	Coarse pulaskite	Diopsidite	Contours
Adivedsonite - microsyenite	Metavolcanics	Quartzofeldspathic gneiss and granulite	
Porphyritic thuyolite	Ahered basic rocks	Quartzofeldspathic gneiss and granulite with kyanite	
Alkaline microgranite	Dolerite and diabase	Quartzofeldspathic gneiss and granulite with graphite	
Phonolite	Domasi biotite - granite	Quartzitic & granular quartz rocks	
Porphyritic plionolite	Biotite - microcline - microgranite	Biotitic-quartz-feldspar-gneiss	
Micropulaskite & microfoyaite	Biotite - microtonalite	Dropsid - amphibolite & pyroxene - hornblende - gneiss	
Porphyritic microfoyaite	Microdiorite	(Phyroxene) - hornblende-biotite - gneiss, occasionally graniticiferous	
Microlithfeldite	Pegmatites	Banded quartzofeldspathic garnet - hornblende - gneiss	
Lamprophyres	Aplite	Biotitic-gneiss	
Carbonatite - agglomerate	Quartz veins	Garnetiferous biotite-hornblende-gneiss, migmatitic in part	
Agglomerate & silicified trachyte	Granite - gneiss & anatectic granite	Garnetiferous hypersthene - biotite-gneiss, as bands in charnockitic gneiss	
Alkaline granite of ring dyke	Anatectic quartz - syenite	Charnokitic gneiss & granulite	
Alkaline granite of Malosa Mountain	Perthositic gneiss & anatectic perthositic & syenitic	Permatitic charnockitic granulite	
Syenite & perthositic	Perthite - angen gneiss		
Porphyritic syenite	Metagabbro & syenogabbro		

図 7.6 GIS データ化された地質図 (Sheet No.16: Zomba)

8. 鉱物資源ポテンシャル

8.1 鉱物資源図

マラウイには、1980年に作成され、2000年に更新された100万分の1鉱物資源図がある。同図と既存10万分の1地質図に基づき、本プロジェクトにおいてデジタルデータ化した鉱物資源図を図8.1に示す。

同図で示されている資源は以下の21種類であり、賦存箇所は80点である。

- ・金、鉛、チタン鉄鉱、ニオブ、アルミニウム、グラファイト、黄鉄鉱、ベリル
- ・石炭、ウラン
- ・石灰岩、大理石、長石、霞石閃長岩
- ・カオリナイト、雲母、石英、シリカ砂、アスベスト、レンガ用粘土、ダイアトマイト

8.2 鉱物資源ポテンシャル

マラウイにおける主要な鉱物資源は、5.4節で記したとおりである。その中で、比較的高い鉱物資源ポテンシャルが期待されるものは、ウラン、石炭、チタン鉄鉱、ニオブ、REE、アルミニウムである。これらの産出はいずれも地質と密接な関係を有する。

(1) ウラン

マラウイ北部の中生代～古生代のカルー系およびポストカルー系の堆積岩類に砂岩型のウラン鉱床が胚胎する。2009年に生産を開始したKayelekeraウラン鉱山はマラウイで初めての大規模開発鉱山である。カルー系の堆積盆地が広く分布するマラウイ北部では、ウランの探鉱が活発に行われており、同様のウラン鉱床の存在が期待されている。

(2) 石炭

マラウイ北部および南端部の中生代～古生代のカルー系およびポストカルー系の堆積岩類に石炭が胚胎する。北部では幾つかの小規模な炭鉱が操業している。概して、炭層は薄く、変位に富み、やや地下深部に存在していることが、開発上のネックとなっている。しかし、近年の電力・エネルギー不足と鉱業促進政策が石炭資源開発の追い風となることが期待される。

(3) チタン鉄鉱

チタン鉄鉱はマラウイ湖岸およびシレ川流域に、堆積性の重鉱物砂鉱床として胚胎する。幾つかの地域で探鉱が行われており、開発に一番近い鉱物資源と考えられる。他の鉱物資源に比べて採掘が容易であることは利点ではあるが、インフラを始めとするコストにおける競争力が重要である。

(4) ニオブ，REE

マラウイ南部の Chilwa アルカリ岩区には，閃長岩やカーボナタイトの貫入岩体が数多く分布しており，それらの岩体にはニオブや REE の鉱徴が確認されている。現在のマラウイでは最も活発に探鉱が行われている鉱物資源であり，近い将来の開発が期待される。ただし，近年 REE の価格は一時期に比べて低下していることから，REE の各元素の品位，資源量，選鉱の容易さ，放射性元素の量が開発の可否を決める大きな要因になると考えられる。

(5) アルミニウム

マラウイ南部の Mulanje 山体および Zomba 山体の頂部に，相当規模のボーキサイト鉱床が確認されている。これらの開発には，インフラ・電力事情，環境問題が大きなネックとなっている。

(6) レアメタル，ベースメタル

マラウイ中部の基盤複合岩類中に分布する塩基性～超塩基性岩体に伴われるマグマ性鉱床の鉱徴が確認されているが，規模の大きな鉱床は未確認である。今後の探査によって新たな鉱徴が発見される可能性は高く，鉱物種によっては鉱山開発に至るものが現れることが期待される。

(7) 貴金属

金の主な鉱徴は火成岩の貫入活動に関連して形成されたと考えられており，現状ではポテンシャルはそれほど高くないと考えられる。しかし，スモールスケールマイニングとしての価値は無視できない。

(8) 宝石，貴石類

主にスモールスケールマイニングで採掘されているが，量・質ともに特別に秀でたものはないようである。

8.3 ポテンシャル評価の手段

一般に，鉱物資源のポテンシャルを評価する初期段階の手段として，広域的な地質図，地球物理データ，地球化学データ，衛星データ，鉱業関連の統計データなどがある。調査段階が進むと，同種類のデータのより詳細な情報が必要となり，これにボーリングデータや各種試料の化学分析データなどが加わる。

本プロジェクトで作成されたマラウイ全土のデジタル地質図（GIS データ）は，鉱物資源の評価において最も基礎的な情報である。GIS データ化されたことで使い勝手が非常に良くなったこともあり，今後は鉱業分野だけでなく，土地利用や環境などの分野でも有効に利用されると考えられる。

本プロジェクトで使用した ASTER データは，特に熱水性変質鉱物の抽出に有効である

が、マラウイでは熱水性変質鉱物を特徴的に伴う鉱床は存在しない。したがって、マラウイでは **ASTER** データは主に地層・岩相区分や地質構造判読に利用される。**PALSAR** データでは地形・地質構造が明瞭に判読できることから、特徴的な構造をもつ地層や岩体の抽出に有効である。本プロジェクトでは、**OJT** の一環として、マラウイ南部の **Chilwa** アルカリ岩区において、火成岩貫入岩体を抽出し、線構造を把握する目的で、リニアメントの判読を行った (6.3.2 項, 図 6.19 参照)。このような結果も鉱物資源ポテンシャルの初期の評価に有効に利用されることが考えられる。

一方、マラウイで開発が期待される前述のような鉱物資源の評価には、物理探査データが有効である。特に、ウラン、**REE** を含む鉱物、重鉱物砂鉱床などには、放射能探査データ、塩基性～超塩基性岩体に伴われる鉱床には、磁気探査データが有効である。2013 年に始まる世銀の鉱業関連プロジェクトでは、広域的な空中物理探査が実施されることになっており、この探査結果は将来的な鉱物資源の探査に大きく寄与すると考えられる。

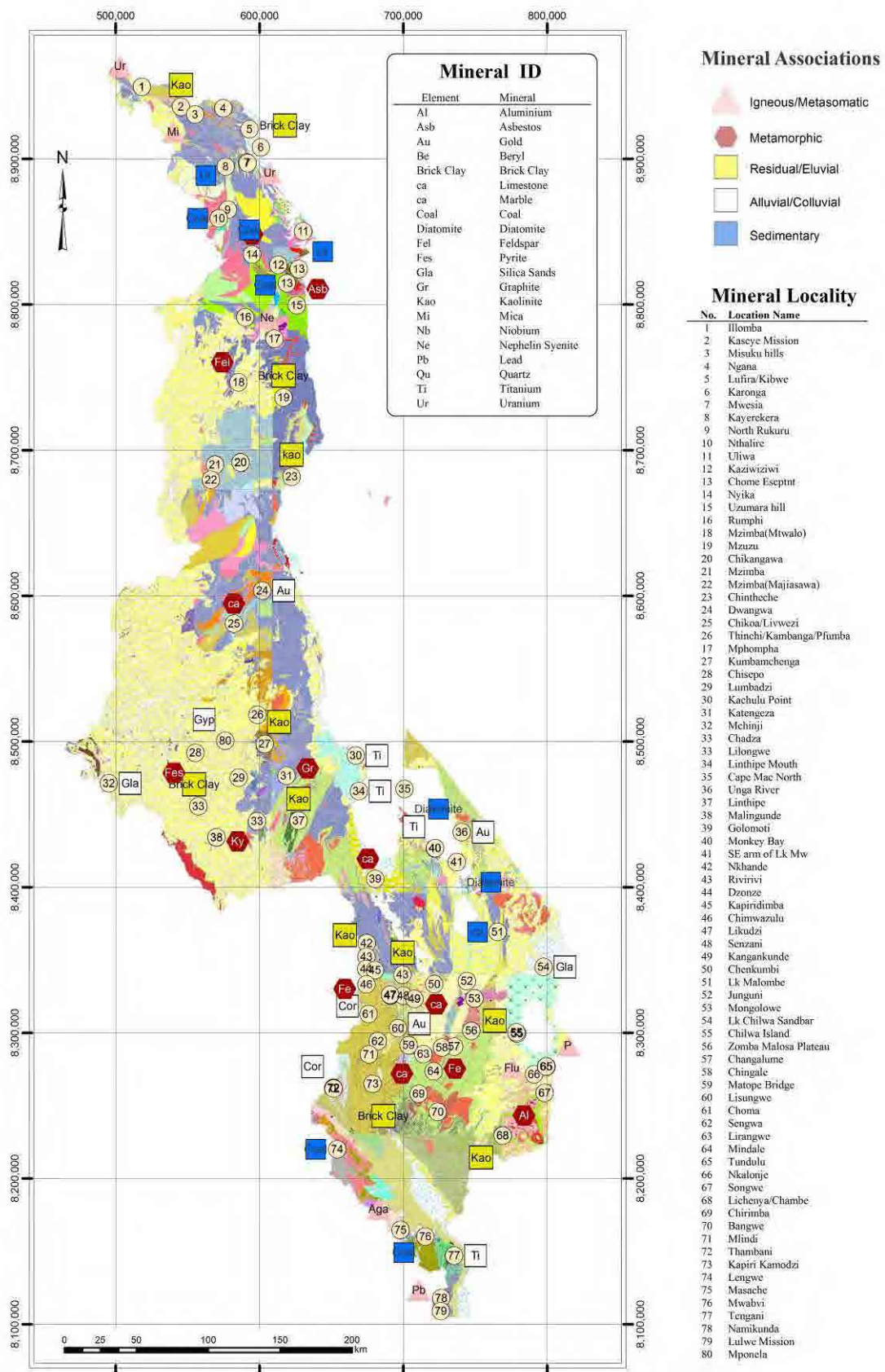


图 8.1 鉍物資源分布图

9. GIS データベース構築

9.1 データ収集

以下に示すマラウイ全土の GIS データを GSD を通じて取得した。これらのデータは Malawi Department of Surveys によって管理されている。データの投影座標系は UTM zone36S WGS1984 である。主要なデータを ArcGIS で表示したものを図 9.1 および図 9.2 に示す。

- ・道路，鉄道：ポリラインデータ
- ・河川，湖：ポリラインデータ，ポリゴンデータ
- ・行政界，国境：ポリゴンデータ
- ・市町村：ポイントデータ
- ・自然公園，保護地区：ポリゴンデータ
- ・地形等高線：ポリラインデータ

9.2 GIS データベース

GIS データベースは供与機材の LAN 接続外付けハードディスクに保存している。データベース全体のツリー型ディレクトリ構造を図 9.3 に示す。

ルートディレクトリ（最上層フォルダ）の名称は“JICA_GIS_database”である。この下に，“GIS_Data”，“Geologic_Maps100k” および “Satellite_data” の 3 つのサブディレクトリ（フォルダ）がある。

“GIS_Data” フォルダには 10 万分の 1 地質図全 40 枚の GIS 化されたデータおよび収集された GIS データが保存されている。各地質図を描画する ArcMap ファイルもそれぞれの地質図フォルダに含まれる。

“Geologic_Maps100k” フォルダには 10 万分の 1 地質図全 40 枚の各種画像データが保存されている。

“Satellite_data” フォルダには ASTER, PALSAR, LANDSAT の各衛星データおよび解析画像，G-DEM のデータおよび解析画像が保存されている。

9.3 GIS データベース管理マニュアルの作成

GIS データベースは供与機材の LAN 接続外付けハードディスク 2 台の中に同じものが保存されている。これは，データの予期せぬ消失や意図せぬ変更を防ぐことを目的としており，1 台は保存用であり，1 台はバックアップ用である。通常は，保存用の 1 台のみ電源を投入する。GSD 局長に指名された管理者のみがデータの更新を行い，更新後は速やかに，もう一方の外付けハードディスクにコピーを行う。データベースを利用する人間は，

保存用ハードディスク内の必要なデータを各 PC にコピーして、データ処理、図面作成などを行うこととする。

このような GIS データベースの維持管理、運用手順について GIS データベース管理マニュアルを作成した。その項目は以下のとおりである。同マニュアルの集約版を巻末資料 6 に示す。

1. 装置
2. フォルダ構成
3. 運用
 - 3.1 概要
 - 3.2 ハードディスクの管理
 - 3.3 データの利用
 - 3.4 データの更新
 - 3.5 データの復旧

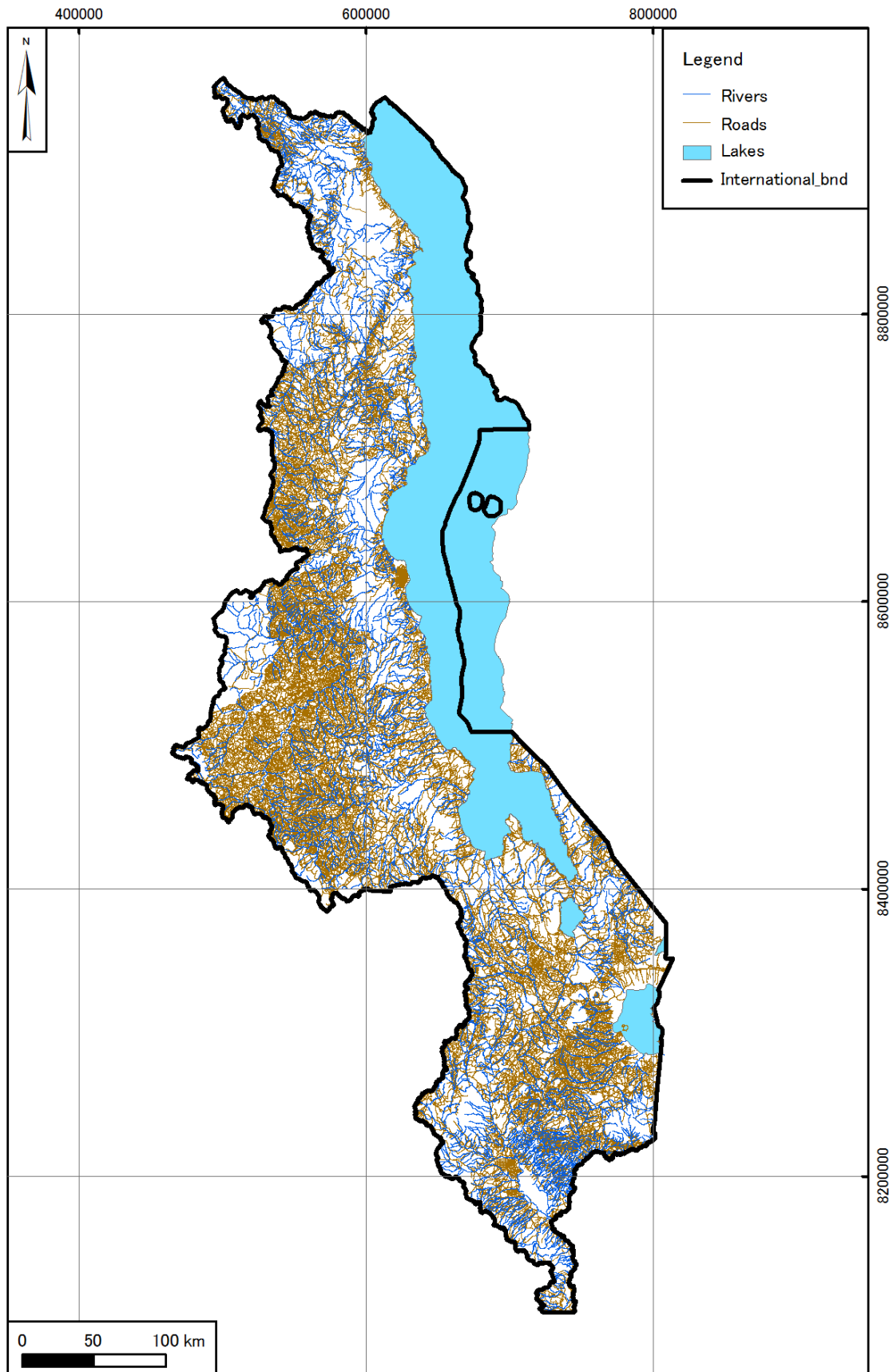


図 9.1 地形データの GIS 図

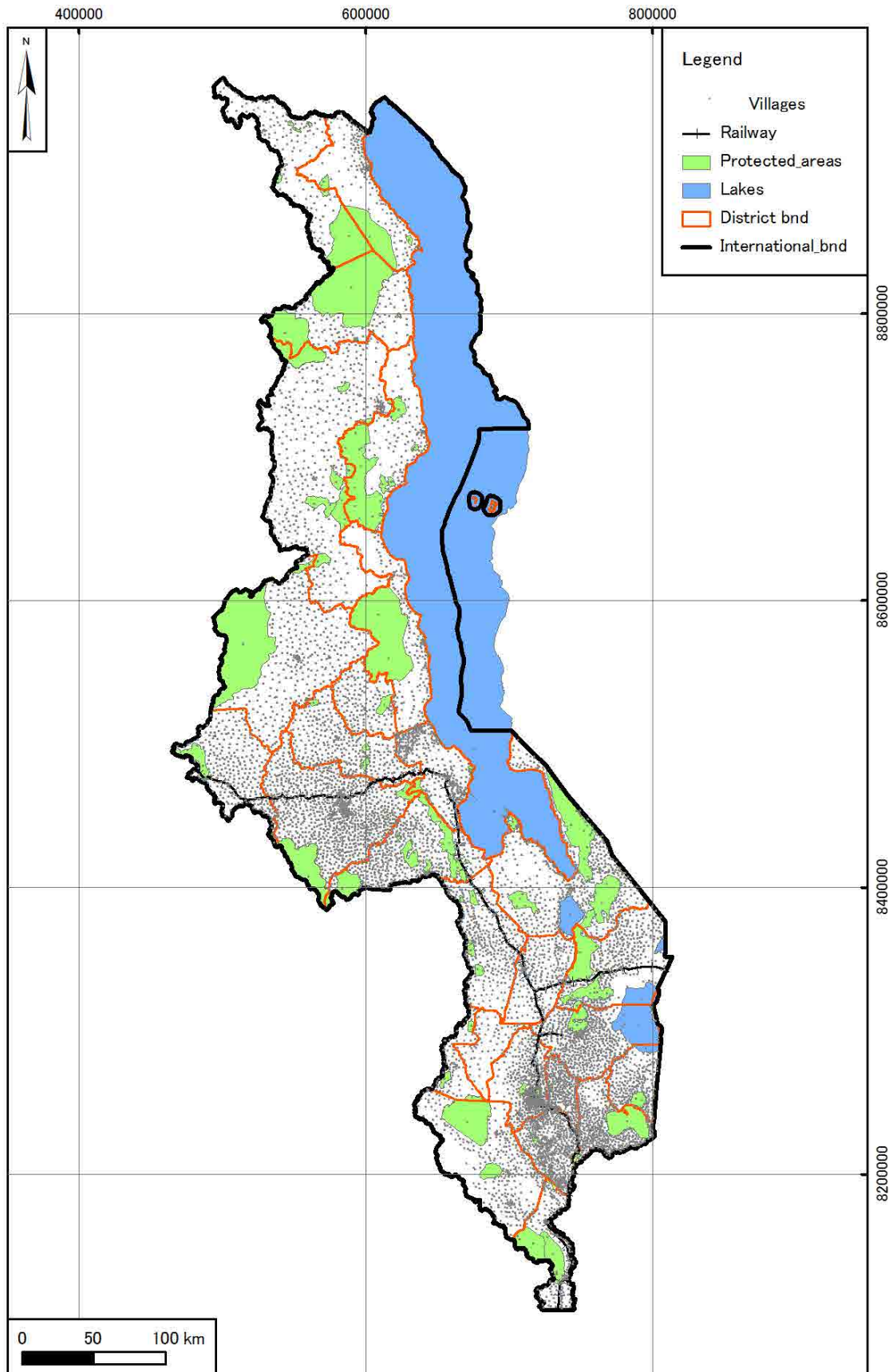


図 9.2 行政等データの GIS 図

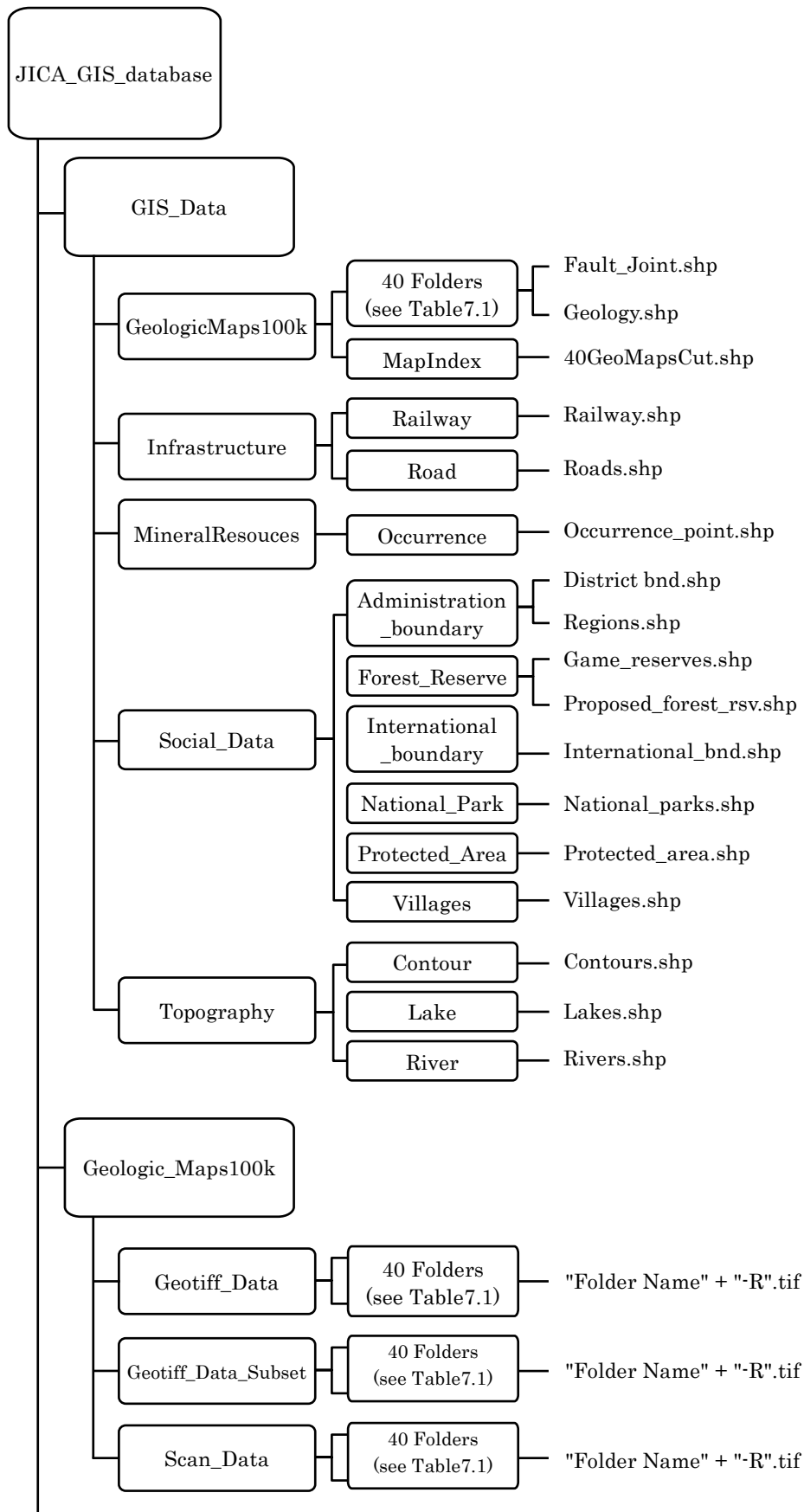


図 9.3 GIS データベースのツリー型ディレクトリ構造(1/2)

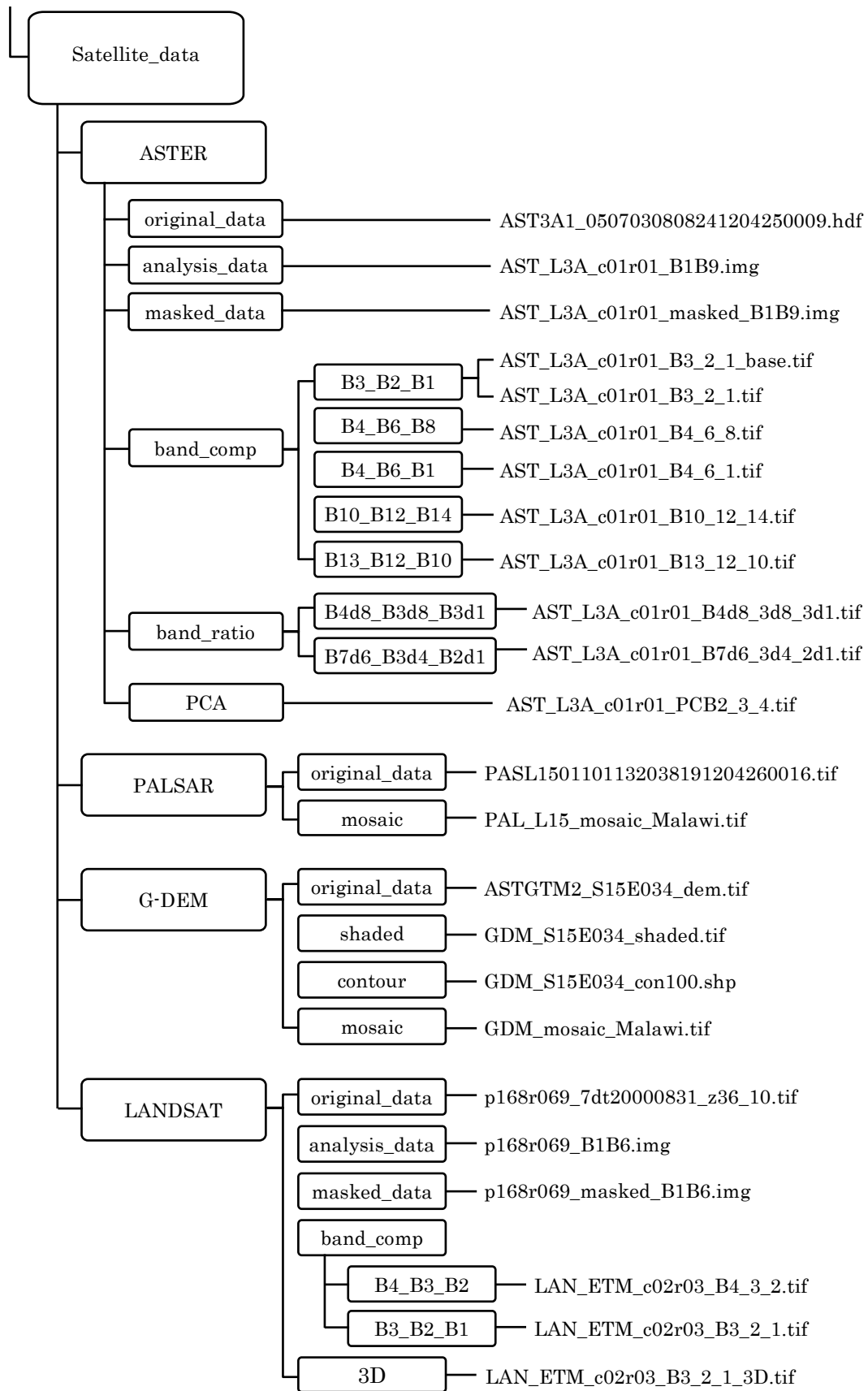


図 9.3 GIS データベースのツリー型ディレクトリ構造 (2/2)

10. 人材育成

10.1 人材育成のプログラム

人材育成は、衛星データ解析と GIS データ作成における OJT を通じた技術移転、技術移転セミナー、本邦研修および成果報告会からなる。

OJT を通じた技術移転は第 2 次および第 3 次現地業務全般において実施され、技術移転セミナーは第 3 次現地業務の後半に実施された。本邦研修は第 3 次現地業務の後、本プロジェクトの終盤に日本国内にて実施された。成果報告会は第 4 次現地業務において実施された。人材育成プログラムに参加した GSD 技術者を表 10.1 に示す。

表 10.1 人材育成プログラムの参加者

		職 種	参加プログラム
1	A	Acting Director	Training in Japan, Workshop 発表
2	B	Principal geologist	Training in Japan
3	C	Principal geologist	Training in Japan, Workshop 発表
4	D	Geologist	OJT
5	E	Geologist	OJT, Workshop 発表
6	F	Geologist	OJT
7	G	Geological technician	OJT, Workshop 発表
8	H	Geological technician	OJT
9	I	Cartographer	OJT, Workshop 発表
10	J	Cartographer	OJT
11	K	PC technician	OJT, Workshop 発表
12	L	Librarian	OJT, Workshop 発表
13	M	Senior geochemist	Seminar
14	N	Geologist	Seminar
15	O	Geologist	Seminar
16	P	Geologist	Seminar
17	Q	Geologist	Seminar
18	R	Geologist	Seminar
19	S	Geologist	Seminar
20	T	Geologist	Seminar
21	U	Geologist	Seminar
22	V	Geologist	Seminar

10.2 衛星データ解析の OJT

10.2.1 OJT の方法

Exelis VIS 社製 ENVI ソフトウェアを主に使用して衛星データの処理・解析を行う OJT を実施した。解析対象データは ASTER データ (全 79 シーン)、PALSAR データ (全 64 シーン)、G-DEM データ (全 84 シーン) である。

ASTER データについては、前処理、バンド演算処理、バンド合成画像の作成、比演算処理画像の作成および主成分分析を OJT として実習した。PALSAR データについては、モザイク処理、リニアメント等地質構造の抽出を OJT として実習した。G-DEM データについてはモザイク処理、地形図の作成を OJT として実習した。さらに、OJT の一環として衛星データの解析結果を検証するために現地検証調査を行った。現地検証調査では、衛星データ解析結果を基に選定したマラウイ南部の 29 地点において、岩石露頭の観察および岩相、鉱物、地質構造の確認の実習を行った (図 10.2, 上・中写真)。

10.2.2 OJT の内容

OJT の冒頭に、リモートセンシングの理論および衛星データ解析の概要と実例についての講義を行った (図 10.1, 上・中写真)。衛星データ解析作業を行うに当たって、解析作業全体を複数のパートに分割し、各パートの作業について作業手順書を作成した。作業開始時に作業手順書に従った作業の実演を行い、作業内容を C/P に説明した後に、C/P 自身が実際に作業を行った (図 10.1, 下写真)。C/P に作業内容を十分に理解してもらうために同一作業を繰り返し実施できるよう配慮した。参加した C/P すべてが作業を完了できるように、必要、状況に応じ個別指導を実施した。このようにして C/P がマニュアルを参照しながら独力で一連のデータ処理・解析を行う技術を習得できるよう指導した。

OJT で実施したデータ解析の詳細な内容は 6 章を参照。

10.2.3 技術移転の評価

OJT の実作業および課題演習において、各 C/P の技術レベルを調査団が評価した結果、以下のような 3 つのグループに区分された。

(1) グループ A

衛星データ解析の内容を理解しており、作業手順書を用いてデータ処理・解析作業のすべてを独力で行うことができる。

(2) グループ B

衛星データ解析の内容を概ね理解しており、作業手順書を用いてデータ処理・解析作業の大半を独力で行うことができるが、一部の作業については指導者の助言が必要である。

(3) グループ C

衛星データ解析の内容について理解が不足しているため、作業手順書に従って指導者の指導がなければデータ処理・解析作業を行うことができない。

さらに、OJT 実作業の理解度、習熟度を把握し、C/P の技術レベルを維持するために、

3 回のミニテストを実施した。ミニテストは、専門用語の理解度、データ解析内容および手順の理解度を評価するための問題とした。採点結果は上記の評価と非常に調和的で、テスト結果でも同じ 3 つのグループに区分された。

衛星データ解析の OJT により C/P が習得した技術はグループ別に以下のとおりである。

(1) グループ A

ASTER データ解析

- ・ 種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・ データのリサイジング
- ・ VNIR と SWIR バンド統合処理
- ・ no data 域マスクの作成とデータへの適用
- ・ 正規化植生指数 (NDVI) の算出
- ・ 植生域, 水域, 雲域, 影域のマスク作成
- ・ マルチバンドマスクデータの作成
- ・ 統合マスクの作成およびデータへの適用
- ・ バンド合成画像の作成
- ・ 比演算処理
- ・ 比演算処理画像の作成
- ・ 作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存
- ・ 主成分分析 (PCA)

PALSAR データ解析

- ・ 種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・ モザイク処理
- ・ モザイク画像の作成
- ・ 作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存
- ・ リニアメント抽出

G-DEM データ処理

- ・ 種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・ モザイク処理
- ・ ASTER G-DEM カラー段彩地形図の作成
- ・ 陰影データ作成処理
- ・ ASTER G-DEM 陰影図の作成
- ・ 作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

(2) グループ B

ASTER データ解析

- ・ 種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・ データのリサイジング
- ・ VNIR と SWIR バンド統合処理
- ・ no data 域マスクの作成とデータへの適用

- ・正規化植生指数（NDVI）の算出
- ・植生域，水域，雲域，影域のマスク作成
- ・マルチバンドマスクデータの作成
- ・統合マスクの作成およびデータへの適用
- ・バンド合成画像の作成
- ・比演算処理
- ・比演算処理画像の作成
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

PALSAR データ解析

- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・モザイク処理
- ・モザイク画像の作成
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

G-DEM データ処理

- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・モザイク処理
- ・ASTER G-DEM カラー段彩地形図の作成
- ・陰影データ作成処理
- ・ASTER G-DEM 陰影図の作成
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

(3) グループ C

ASTER データ解析

- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・データのリサイジング
- ・VNIR と SWIR バンド統合処理
- ・no data 域マスクの作成とデータへの適用
- ・正規化植生指数（NDVI）の算出
- ・バンド合成画像の作成
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

PALSAR データ解析

- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

G-DEM データ処理

- ・種類別のデータ読み込み／書き込み
- ・ASTER G-DEM カラー段彩地形図の作成
- ・作成画像を GeoTIFF ファイルとして保存

10.3 GIS データ作成の OJT

10.3.1 OJT の方法

ArcGIS を使用して 10 万分の 1 地質図をデジタルトレースして、完成品としての地質図面の作成と印刷を行う OJT を実施した。8 名の C/P（表 10.1 の 4, 5, 7~12）は、地質図をトレースして、ポリラインおよびポリゴンの作図方法、保存方法、表現手法、地質図面の作成方法と印刷方法などの技術を習得した。

OJT の冒頭に、GIS の理論および ArcGIS の使用方法の講義を行った。実質的な OJT は、地質図の GIS データ化、地質図面の作成・印刷作業を作業順に 1 項目ずつ、下記の 3 点を繰り返し行う方法で実施した。特に実習ではマニュアルを参照しながら独力で作業できることを目標とし、必要、状況に応じ個別指導を実施した。OJT において多くの C/P がつまずく、間違ふ項目については、小講義や復習を追加して行い、概ね週 1 回の割合で試験を実施し理解度の把握に努めた。

- ・講義
- ・スクリーンで作業の実演
- ・マニュアルを参照しながら実習

OJT で実施した GIS データ作成の詳細な内容は 7 章を参照。

10.3.2 技術移転の評価

OJT の実作業において、各 C/P の技術レベルを調査団が評価した結果、以下のような 3 つのグループに区分された。

(1) グループ A

GIS データ作成および印刷法を理解している。概ね十分な精度でかつ独力で地質図データの GIS 化ができ、印刷用レイアウトを構成し地質図を印刷できるほか、簡単な指導ができる。習得した技術は以下のとおりである。

- ・全体作業環境の調整
- ・ジオリファレンス
- ・座標系の使い分け
- ・効率的なシェープファイルの作成
- ・属性データの付与
- ・ファイルの保存
- ・印刷用紙設定
- ・グリッド設定
- ・凡例などの設定
- ・印刷
- ・大きなミスの発見
- ・簡単な指導

(2) グループ B

GIS データ作成の主な作業を理解しており、精度と速度は不安定であるが、作業手順書を用いて地質図データの GIS 化作業、印刷のレイアウトおよび印刷作業の大半を独力で行うことができる。一部の作業については指導者の助言が必要である。習得した技術は以下のとおりである。

- ・描画作業環境の調整
- ・座標系の設定
- ・シェープファイルの作成
- ・ファイルの保存
- ・簡単な印刷用紙の設定
- ・簡単なグリッド設定
- ・簡単な凡例などの設定

(3) グループ C

簡単な地質図データの GIS 化作業が行える。GIS データ作成について理解が不足しているため、その他の作業は手順書を参照した独力で行うことができず、指導者が必要である。習得した技術は以下のとおり。

- ・簡単なシェープファイルの作成
- ・ファイルの保存

10.4 OJT のまとめ

OJT は衛星データ解析および GIS データ作成に対して、それぞれ専用のソフトウェアを使用して実習形式で行われた。これらの OJT 作業内容に対する理解度およびソフト操作の習熟において、OJT に参加した 8 名の C/P は前述のように 3 つのグループに分けられた。ただし、衛星データ解析と GIS データ作成で評価のグループ分けは一部で異なる。グループ A は共通であるが、その他は専門分野、PC 操作の経験および性格に左右されている。

グループ A は、今後とも自立的に衛星データ解析および GIS データ作成を継続的に実施できる技術を習得したものと評価できる。グループ B は、グループ A の補助によってグループ A 同様に、各種作業を継続的に実施することが可能である。グループ C は、今後も時間をかけて OJT 作業を繰り返して実施することで、さらなる操作技術（特に速度と確実性）のレベルを上げることが求められる。

10.5 技術移転セミナー

(1) 参加者

調査団からは GSD 局長に対して、本セミナーの対象を 2012 年に入局した新人地質技術者を主体とし、参加人数は最大 10 名とすることを要望した。その結果、表 10.1 に示

す 10 名の GSD 技術者が参加した（図 10.2，下写真）。しかし，2 名は 2 日と半日という短期間のみの参加であった。

(2) 日程

2013 年 1 月 29 日（火）から 2 月 1 日（金）の 4 日間

午前：9 時から 12 時まで，午後：13 時 30 分から 16 時 30 分まで

(3) 場所

GSD 内，OJT 専用室（製図室）

OJT で使用している供与機材のパソコン 5 台を使用した。

(4) 内容

- ・ 1 日目：リモートセンシングの理論，ASTER データの解析実例，ENVI でのデータ解析実習
- ・ 2 日目：ENVI でのデータ解析実習
- ・ 3 日目：GIS の理論，ArcGIS の使用方法，ArcGIS を使用した実習
- ・ 4 日目：ArcGIS を使用した GIS データ作成の実習

(5) 成果

若い地質技術者が最新の地質データの処理技術に触れることができ、大きな興味を持った。ただし、非常に短期間での概要説明と簡単な実習に終わったことから、より長期間の研修を望む声が多かった。

10.6 本邦研修

本邦研修は 2013 年 4 月 12 日から 21 日にかけて実施された。

(1) 参加者

- ・ GSD 局長代行
- ・ GSD 主席地質技術者
- ・ GSD 主席地質技術者

(2) 日程

- ・ 4 月 12 日（金）～14 日（日）

移動（Lilongwe－Nairobi－Bangkok－Tokyo）

- ・ 4 月 15 日（月）

午前：JICA 東京（TIC）にて研修ブリーフィング

午後：JICA 本部および住鉱資源開発株式会社（SRED）にて研修内容等の説明

つくばに移動，JICA つくば宿泊

- ・ 4 月 16 日（火）

AIST（産総研）の地質総合センター（GSJ）訪問

午前：AIST/GSJ の業務概要，鉱物資源のタイプと成因

午後：工業原料鉱物とその利用，鉱物学から見たレアアース資源，リモートセンシングと鉱床探査

JICA つくば宿泊

- ・ 4月17日（水）
地質総合センター（GSJ）訪問
午前：携帯型化学分析機器による分析の実演，各種分析室および選鉱実験室の見学と説明（図 10.3，上写真）
午後：地質標本館にて岩石・鉱物標本の見学
東京に移動
- ・ 4月18日（木）
JSS 訪問
午前：JSS の業務概要，ASTER・PALSAR・HISUI プロジェクト，GIS データベース作成プロジェクト，衛星データの取得・管理方法
JOGMEC 訪問
午後：JOGMEC の業務概要，日本の鉱物資源探査の方式，海底資源探査の現状
- ・ 4月19日（金）
JICA 研究所（市ヶ谷）訪問
午前：報告会，講演会の準備
午後：研修結果の報告
15～18 時：マラウイ鉱業セミナー（JICA 主催）：
「マラウイの鉱業セクターの紹介，鉱物資源の現状と今後の展望」
- ・ 4月20日～21日
移動（Tokyo－Bangkok－Nairobi－Lilongwe）

10.7 成果報告会（Workshop）

本プロジェクトの成果を共有し，公表することを目的として，第 4 次現地業務において以下の要領で成果報告会（Workshop）を開催した（図 10.3，中・下写真）。

- (1) 出席者：78 名
鉱山省，鉱山局，GSD（国内各所），民間企業，大学関係者，ゾンバ警察など地元関係機関，新聞社，JICA マラウイ事務所，JICA 調査団など
- (2) 場所：ゾンバ市内，Masongola Hotel，Conference Room
- (3) 月日：5 月 24 日（金）
- (4) プログラム
 - ・ 出席者による自己紹介
 - ・ 開会の祈り：GSD 人材管理副担当
 - ・ 開会の講演：GSD 局長代行
 - ・ 開会のスピーチ：JICA マラウイ事務所次長
 - ・ プロジェクト概要：小沼，JICA 調査団長
 - ・ リモートセンシングデータ解析と OJT：武田，JICA 調査団員
 - ・ 休憩

- ・ GIS データベース作成と OJT : 小林, JICA 調査団員
- ・ プロジェクト成果 : 小沼, JICA 調査団長
- ・ OJT とその成果 : GSD 技術者
- ・ OJT/地質図説明書のスキャン : GSD 技術者
- ・ 質疑, 応答
- ・ ポスターセッション : JICA 調査団員
- ・ 昼食休憩
- ・ OJT と感想 : GSD 技術者
- ・ OJT と感想 : GSD 技術者
- ・ OJT と感想 : GSD 技術者
- ・ 本邦研修 : GSD 技術者
- ・ JICA の研修の紹介 : GSD 技術者
- ・ 質疑応答
- ・ 閉会の挨拶 : GSD 局長代行
- ・ 開会の祈り : GSD 人材管理副担当
- ・ 閉会

10.8 JICA 研修

JICA アフリカ地域別研修は毎年 2 月上旬から 3 月中下旬にかけて、秋田県小坂町の一般財団法人国際資源大学校 (MINETEC) での講義を中心に実施されている。本プロジェクトの期間中であった 2013 年 2 月～3 月に、OJT を受けていた地質技術者 2 名がこの JICA 地域別研修に参加した。GSD が研修参加者を選定する際には、調査団総括の小沼がこの 2 名を推薦したという経緯がある。この 2 名は、本プロジェクトでの技術移転に加えて、日本での長期研修の機会を得て、鉱物資源、リモートセンシング、GIS などに関する知識と技術を得ることができて、さらなるレベルアップにつながった。なお、調査団総括の小沼はこの JICA 地域別研修において 2 日間の講義と数日の研修生支援授業を受け持っており、両名に対するバックアップに努めた。



上：リモートセンシングに関する講義（GSD 前局長も出席）.
中：スペクトルメータを使用した，岩石のスペクトル測定.
下：衛星データ解析の手順の説明.

図 10.1 OJT による技術移転の写真



上：衛星データ解析の現地検証調査（C/PがGPSにてデータ取得中）.
中：衛星データ解析の現地検証調査（調査団員がC/Pに記載項目を説明）.
下：技術移転セミナーでの講義.

図 10.2 OJTによる技術移転の写真



上：本邦研修における分析機器の見学（於 AIST/GSJ）.
中：成果報告会の開会挨拶（GSD 局長代行）.
下：成果報告会会場に展示した一部の成果物（ポスターセッションで説明）.

図 10.3 人材育成に関するその他の写真

1 1. 課題と提言など

11.1 課題

プロジェクト当初に参加が予定されていた、研修経験のある地質技術者が OJT に参加しなかったことは、OJT で実施した作業の進捗において問題が生じた。しかし、2 名の地質技術者が衛星データの解析および GIS データの作成に関する全般的な技術を OJT を通じて獲得したことは最大の成果であり、それ以外の C/P も OJT を通じて確実にレベルアップした。このことは、将来の GSD の技術的進歩につながると確信する。

今後は、本プロジェクトで高度な技術を習得した技術者が技術レベルを維持していく必要がある。同時に、これらの技術者および他の研修等で一定の技術を所有する技術者が、GSD を離れることなく、技術や経験を他の技術者に継承していくことが求められる。そのためには、地質調査・資源探査等のプロジェクトが日本をはじめとするドナーおよび外国民間企業によって継続的に実施されることが望まれる。しかし、マラウイの地質・鉱物資源データは民間企業にとって必ずしも十分ではないため、より詳細な、あるいは魅力的なデータを整備し、管理していくことが肝要である。

設備面では、本プロジェクトで必要十分なハードウェアとソフトウェアが GSD に供与されている。しかし、停電が頻発する環境のため、電力の確保が最も危機的な課題といえる。さらに、定期的なハードウェアとソフトウェアの更新も必要である。このようなバックアップも外国ドナー等に頼らざるを得ないのが現状である。

11.2 提言

マラウイ国の鉱業促進および民間企業の投資促進を考慮すると、以下のデータ、調査、管理体制が必要と考えられる。

(1) マラウイ全土のシームレス地質図

本プロジェクトで作成された GIS データベースはすぐにでも需要のあるデータからなっている。しかし、40 葉のデジタル地質図は個別のデータとして保存・管理されているため、利用者にとっては必ずしも使い勝手が良いとはいえない。すなわち、全 40 葉の地質図が 1 枚のシームレス地質図にコンパイルされてこそ、地質図としての利用価値が高まる。

マラウイの地質図は作成年代も異なり、それぞれの地質図の境界部では地層が繋がらない所が数多く認められる。このような不具合を地質学的見地から修正して、より正確なシームレス地質図を作成することが必要である。しかし、この作業は単純作業ではなく、地質を理解した上で、地形や衛星データに基づいてコンパイルする必要があるため、多くの手間と時間が必要となる。

(2) マラウイ全土の地球化学図

鉱物資源探査を始める際に必要となる基礎データは、地質図、地球化学データ、地球物理データおよび衛星データである。本 JICA プロジェクトにおいて地質図はデジタル化され、衛星データとともに GIS データベースとしてまとめられた。地球物理探査データは世銀の「鉱業ガバナンス支援プロジェクト」において 2013 年に取得される計画である。しかし、地球化学データについては未整備であることから、早々にマラウイ全土を網羅する地球化学データが取得されることが望ましい。

地球化学図作成の目的は、自然の地質・地球化学的バックグラウンドデータを把握して、鉱床を示唆する異常データ、環境の異常データなどを検出することである。調査手法は、主な河川で河川堆積物を採取して、化学分析を行い、分析結果を統計処理する。統計解析結果から統計学的異常データを抽出し、GIS 上で図面化する。

このような地球化学図が作成されることは、鉱物資源の有望地域が容易に抽出されることにつながり、探鉱に非常に有益な情報となる。

(3) データベースの拡張と管理

いずれ、世銀プロジェクト等の調査データが得られれば、それらのデータを追加して、データベースを拡張させていく必要がある。しかし、データ種類と容量が多くなれば、データを適正に系統的に保持することが重要になってくる。今後は、地質・鉱物資源に関する各種データがデジタルデータで一元的にセキュリティを保って管理され、必要に応じてデータを販売するようなシステムが構築されることが求められる。

11.3 アクションプラン

本プロジェクトの方針である人材育成と体制強化を継続することを目標とするアクションプランを以下のように設定した。

(1) 目的

- ・継続的な作業を通じて、技術力の維持と向上を図る。
- ・データの蓄積を図る。
- ・データベースを適切に維持、管理する。

(2) 内容

- ・既存の衛星データを用いて、定期的にデータ処理の自習をする。
- ・関心のある地域の衛星データを処理する。
- ・既存のマニュアルに従って、衛星データ処理および GIS データ作成の独習をする。
- ・過去の調査結果データを必要に応じて GIS データ化する。
- ・新しい調査地域の衛星データや地質図等をチェックし、必要に応じて GIS で図面を作成する。
- ・新規の調査結果データを必ず GIS データ化する。

- ・新しく作成した GIS データおよび世銀等の調査データを適宜データベースに取り入れる。
- ・定期的にデータベースのバックアップを取り，データベースを継続的に適正に管理する。
- ・データベースの不正利用やハードウェアの破損，盗難などがないように，常にこれらの安全管理に留意する。

(3) 期待される成果

- ・より多くの技術者が衛星データ処理および GIS データ作成の技術を習得する。
- ・GSD の技術力が維持される。
- ・データベースが適正に管理され，整備されていく。

(4) 必要な資機材

- ・本プロジェクトで供与された機材一式を利用することで当面は十分である。

1 2. 引用・参考文献等

JOGMEC (2011): マラウイの投資環境 2010 年. 118p.

Government of Malawi (2006): Malawi Growth and Development Strategy – From Poverty To Prosperity 2006-2011. 62p.

Ministry of Energy and Mines, Republic of Malawi (2009): Mineral Potential of Malawi. 1, 2, 3 and 4. (made by British Geological Survey)

US Geological Survey (2011): 2010 Minerals Yearbook, The Mineral Industry of Malawi, by Thomas, R.Y., [Advanced Release], 4p.

World Bank (2009): Malawi Mineral Sector Review - Source of Economic Growth and Development. Report No. 50160-MW, 90p.

World Bank (2011): Malawi: Mining Governance and Growth Support Project Terms of Reference for Strategic Environment and Social Assessment Cover Note (E2680), 19p.

World Bank (2011): Project Appraisal Document on a Proposed Credit in the Amount of SDR 16.1 Million (US\$ 25 Million Equivalent) to the Republic of Malawi for a Mining Governance and Growth Support Project, March 7, 2011 (Report No: 59847-MW). 60p.